Organisation de Coopération et de Développement Economiques
Organisation for Economic Co-operation and Development

23-Apr-2007

Français - Or. Anglais

DIRECTION DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INDUSTRIE
COMITE DE LA POLITIQUE DE L'INFORMATION, DE L'INFORMATIQUE ET DES COMMUNICATIONS

DSTI/ICCP/TISP(2006)4/FINAL
Non classifié

Groupe de travail sur les politiques en matière de télécommunications et de services d'information

HIÉRARCHISATION DU TRAFIC INTERNET : VUE D'ENSEMBLE

JT03225982

Document complet disponible sur OLIS dans son format d'origine
Complete document available on OLIS in its original format

Français - Or. Anglais

AVANT-PROPOS

Ce rapport a été présenté lors de la réunion du Groupe de Travail sur les Politiques d'infrastructures et de services de communication en mai 2006 et a été déclassifié par le Comité de la Politique de l'Information, de l'Informatique et des communications en mars 2007.

Ce document a été préparé par M. Taylor Reynolds de la Direction de la Science, de la Technologie et de l'Industrie de l'OCDE. Il est publié sous la responsabilité du Secrétaire Général de l'OCDE.

© OCDE 2007.

TABLE DES MATIÈRES

PRINCIPALES CONCLUSIONS 4
INTRODUCTION 6
LE CONTEXTE TECHNIQUE : LA HIÉRARCHISATION DU RÉSEAU 7
La gestion des priorités du trafic (transmission prioritaire / mise en file d'attente) 8
Les règles de mise en forme du trafic 11
Les points de contrôle de la mise en forme du trafic 13
PRINCIPALES QUESTIONS ET DÉBATS DE POLITIQUE GÉNÉRALE 16
Les incitations 16
Vers de nouveaux réseaux 16
Vers de nouvelles applications avec qualité du service Qos 16
L'innovation à la périphérie du réseau 17
La production de nouveaux contenus 18
Maintenir l'accès 20
Pratiques anti-concurrentielles 21
Un accès sans entrave à l'information 22
L'utilisation du contrôle du trafic pour assurer la sécurité 22
La propriété de la bande passante 22
Le rôle de la bande passante 22
Les lignes sont-elles payantes ? 23
À qui appartiennent les lignes ? 25
Le droit à la bande passante 27
Les problèmes de protection de la vie privée 28
La mise en forme des paquets et le cryptage 28
Informations personnelles identifiables 28
CONSIDÉRATIONS D'ORDRE POLITIQUE 30
Le niveau de concurrence 30
Négociations entre fournisseurs de contenus et opérateurs des infrastructures 31
La protection du consommateur assurée par le marché dans un Internet à plusieurs vitesses 32
La protection des consommateurs et information 35
L'intervention des pouvoirs publics pour protéger les consommateurs 36
La neutralité du réseau mobile 39
GLOSSAIRE 40
NOTES 41

Encadrés

Encadré 1. La structuration du trafic à l'initiative de l'utilisateur final 13
Encadré 2. Déclaration de politique de la FCC 37

PRINCIPALES CONCLUSIONS

L'Internet est très bien adapté au routage rapide d'importantes quantités de données, mais il n'a pas été conçu pour fournir une qualité de service et un degré de sécurité garantis comme le requièrent désormais un certain nombre de ses applications actuelles.

Les administrateurs qui gèrent les réseaux disposent de puissants instruments leur permettant de contrôler la transmission de certaines données, d'attribuer à certaines données la priorité ou d'en bloquer la transmission. La hiérarchisation du trafic est un instrument qui peut servir à améliorer la qualité de service (QoS) sur leur réseau, mais elle peut également être utilisée d'une façon anti-concurrentielle, pour bloquer ou pour désavantager les services concurrents.

La hiérarchisation du trafic est habituellement pratiquée pour minimiser la latence et répartir la bande passante sur les réseaux de données. Elle revient souvent dans les débats autour du thème de la « neutralité du réseau », bien qu'il n'existe pas de définition universellement admise de cette dernière notion.

De nombreuses innovations vont arriver qui demanderont une meilleure qualité de service que celle que peut actuellement assurer l'Internet. Certains fournisseurs Internet affirment même que selon eux, la hiérarchisation du trafic sera indispensable pour le fonctionnement futur de l'Internet. La possibilité de définir des priorités pour certaines applications sera une bénédiction pour les consommateurs comme pour les fournisseurs, mais à condition que le marché soit suffisamment concurrentiel.

Le débat concernant la hiérarchisation du trafic devrait chercher à déterminer si les forces concurrentielles du marché offrent suffisamment de sauvegardes au consommateur face au comportement de l'opérateur du réseau. Plusieurs facteurs vont influencer les motivations et le comportement des opérateurs, dont l'analyse du marché doit déterminer s'ils risquent d'être préjudiciables pour le consommateur. Parmi ces facteurs figurent le niveau de la concurrence dans le marché de l'accès haut débit, les possibilités offertes par les technologies de hiérarchisation et la gamme des services proposée par les fournisseurs sur le marché.

Dans leur analyse des conditions de concurrence, les responsables politiques doivent prendre en compte les attentes des consommateurs, les technologies pertinentes et la place qu'occupent ces technologies sur le marché. En effet, peut-être n'existe-t-il pas un marché unique de « l'accès Internet à haut débit » mais plutôt plusieurs petits marchés de services. En établissant ces définitions, les responsables doivent faire une bonne évaluation des exigences de différents services en termes de bande passante et de qualité du service, ainsi que des limitations de bande passante des technologies filaires et sans fil.

Les réseaux de fibres en libre accès, notamment lorsque l'infrastructure physique appartient à une coopérative ou à une municipalité, pourraient jouer un rôle important dans le débat sur la hiérarchisation du trafic. Les réseaux en accès ouvert, dans lesquels la fourniture de l'infrastructure est séparée de la fourniture du service, pourraient rendre moins tentantes les pratiques anti-concurrentielles de mise en forme du trafic, en permettant à différents fournisseurs de fournir sur le même marché des services de vidéo, de téléphonie et de données en utilisant la même infrastructure physique. Les municipalités et les

gouvernements pourraient aussi promouvoir le développement de l'infrastructure filaire en autorisant l'accès aux conduits et aux pylônes à tous les fournisseurs intéressés.

Concernant les problèmes de hiérarchisation du réseau, une solution fondée sur le marché est préférable à l'intervention des pouvoirs publics. Toutefois, il peut être utile que les autorités publient un ensemble de principes de base à l'intention des participants au marché. En cas de problèmes, on pourra recourir à des remèdes *a posteriori*. Les règles *a priori* seront ou non appliquées selon que les régulateurs constateront ou non qu'il existe des problèmes récurrents de hiérarchisation du trafic, et selon que la dynamique du marché ou des solutions *a posteriori* suffisent ou non à assurer la protection des consommateurs. De nombreuses discussions ont eu lieu à savoir si cela n'entraînerait pas d'importants problèmes de monopole sur les marchés. À ce jour, il y a eu peu de preuves de conduite anti-concurrentielle et les problèmes ont été rapidement résolus, comme à leur habitude, grâce aux forces du marché ou par des interventions réglementaires rapides sur les marchés où ils sont apparus.

Les consommateurs doivent bénéficier d'une protection *a priori* contre les pratiques opaques des opérateurs de réseaux. Dans ce contexte, il peut être utile de stimuler la concurrence. Il existe plusieurs mesures que les décideurs pourraient prendre pour stimuler davantage la concurrence dans les marchés afin de diminuer les tentations de pratiques anti-concurrentielles et d'assurer de manière préventive la protection des consommateurs :

Réduire les barrières à l'entrée sur le marché de l'accès Internet en haut débit.

Réviser la réglementation existante en matière de concurrence pour pouvoir lutter contre toute pratique abusive susceptible d'apparaître dans un Internet structuré en plusieurs niveaux.

Faire en sorte que les abonnés puissent changer de FAI facilement.

Améliorer la transparence de l'information des consommateurs sur la manière dont leur service Internet en haut débit est traité par la hiérarchisation du trafic.

Compte tenu de l'état actuel des discussions, il semble prématuré que les gouvernements s'impliquent au niveau de l'échange de trafic de réseau à réseau en exigeant des prestataires de contenu un traitement neutre des paquets de données. Les problèmes que rencontrent les petites start-ups, pourraient être résolus grâce à une mutualisation de la demande d'accès à l'Internet via un FAI commun.

Dans l'architecture de l'Internet telle qu'elle se présente actuellement, les routeurs n'ont pas besoin d'examiner systématiquement le contenu des paquets qui transitent sur le réseau avant de les transmettre à leur tour. En revanche, l'introduction de la mise en forme des paquets dans l'ensemble du réseau pourrait nécessiter que les routeurs examinent le contenu des paquets associés à des adresses IP. Dans certaines législations ces pratiques peuvent poser des problèmes de vie privée.

Si le changement d'opérateur a un coût élevé pour le consommateur, celui-ci hésitera à payer pour quitter un fournisseur haut débit au profit d'un autre. Les autorités de régulation pourront envisager de fixer des règles qui protègent le consommateur et lui permettent de changer de fournisseur rapidement et facilement, sans frais supplémentaires ou à un coût modique, et sans rupture de service au cas où les règles de routage de son opérateur venaient à changer et que des services qui « passaient » lorsque l'internaute a souscrit son abonnement devenaient dégradés ou bloqués.

Dans le débat sur la hiérarchisation du trafic, il importe de préciser clairement de quelle bande passante on parle, car les réseaux câble et fibre utilisent parfois déjà une majorité de leur « bande passante » disponible pour des services autres que l'accès Internet. Les débats sur la hiérarchisation du trafic doivent prendre en compte les fréquences réservées aux communications de données Internet et annoncées comme telles dans l'offre commerciale.

INTRODUCTION

De l'avis de certains acteurs du marché, il serait souhaitable que l'Internet, après avoir été longtemps caractérisé par une architecture ouverte assurant aux transmissions une égale priorité, devienne maintenant un réseau sur lequel les utilisateurs qui le souhaitent, particuliers ou entreprises, ont la possibilité de payer un supplément pour que leurs transmissions deviennent prioritaires par rapport aux autres. Dans un tel système, l'accès à l'Internet pourrait être subdivisé en plusieurs niveaux de qualité de service, les données de ceux qui payent plus cher traversant le réseau (prioritairement) plus vite que celles des autres. D'autres observateurs estiment que le fait de payer pour bénéficier d'un traitement prioritaire des données sur l'Internet constituerait une distorsion des principes de base d'égalité et d'ouverture qui caractérisaient l'Internet. La proposition consistant à accorder un statut prioritaire à certains types de données a suscité de vives émotions.

Ce document, qui examine les enjeux des politiques et réglementations en matière de gestion des priorités du trafic, se veut une référence sur ce débat à l'échelon national.

LE CONTEXTE TECHNIQUE : LA HIÉRARCHISATION DU TRAFIC

Dans sa conception initiale, l'Internet était basé sur le « principe du bout en bout » afin d'assurer une efficience maximale du réseau pour un coût minimum. On peut sans doute affirmer que cela a été l'un des principaux facteurs de son succès. Le principe du bout en bout s'applique à la relation entre le réseau et ses points terminaux, et trouve ses origines dans un document précurseur rédigé en 1981 par Jerome Saltzer, David Reed et David Clark. Les auteurs proposaient un modèle dans lequel l'intelligence et la puissance de traitement d'un réseau se concentreraient aux extrémités, alors que le réseau interne resterait aussi simple que possible[1].

C'est le principe qu'ont suivi les pères fondateurs de l'Internet en développant les protocoles et les techniques qui sont devenus l'Internet actuel tel que nous le connaissons. Les ordinateurs communiquent entre eux à travers l'Internet grâce à des adresses IP (utilisées pour reconnaître les différents ordinateurs connectés à l'Internet) et au moyen d'envois en série de petits paquets de données. Les utilisateurs de différents réseaux peuvent s'échanger des informations grâce à des dispositifs de réseau (les routeurs) qui examinent l'adresse IP de destination des paquets de données entrants et qui les redirigent, de façon à les rapprocher toujours davantage de l'ordinateur de destination.

Lors de la création de l'Internet, les règles de traitement des routeurs restaient simplifiées au maximum. C'est ce qui permettait aux routeurs de traiter un grand volume de données moyennant une série de calculs réduite au minimum, et à la plus grande vitesse possible. Avec la croissance de l'Internet, ce schéma initial a permis l'acheminement de quantités considérables de données sans qu'il soit nécessaire de disposer d'une puissance de traitement massive au sein du réseau.

Si l'Internet est très bien adapté au transit rapide d'importantes quantités de données, il n'offre actuellement pas la qualité de service ni le degré de sécurité dont auraient besoin beaucoup de ses applications actuellement envisagées. Les protocoles Internet, tels qu'ils sont appliqués actuellement, ne prévoient pas de fonctionnalité pouvant garantir la qualité du service pour des applications sensibles à la rapidité de transmission, comme la voix ou la vidéo en temps réel. Il s'ensuit que la qualité de la voix et de la vidéo en temps réel transmises sur l'Internet fluctue en fonction de l'importance du trafic global sur l'Internet et de la congestion du réseau. Malgré ces obstacles, les fournisseurs de contenu ont trouvé des moyens innovants pour améliorer les temps de réponse et la qualité du service fourni sans pratiquer de hiérarchisation explicite du trafic. Par exemple, les fournisseurs de contenu ont souvent recours à des services de mise en cache et de distribution de contenus assurés par des acteurs comme Akamai, qui transmettent les contenus via des serveurs décentralisés situés plus proches des internautes. Les fournisseurs de contenus négocient aussi souvent des accords de peering ou de transit directement avec les fournisseurs Internet.

L'Internet tel qu'il fonctionne actuellement n'offre peut-être pas toutes les fonctionnalités en termes de qualité du service qu'exigeront les applications futures, mais les concepteurs du système avaient inclus dans le cahier des charges initial du protocole Internet des éléments de hiérarchisation du trafic.[i] Cette

[i] Par exemple, l'en-tête d'un paquet IP comprend un octet correspondant au « type de service » du paquet. Dans cet octet, trois bits sont utilisés pour fixer le niveau de préséance du paquet – ce qui revient en fait à affecter une note de priorité entre 0 et 7. Cet en-tête « type de service » existe dans le protocole mais n'est pas souvent utilisé. Par la suite, l'IETF a proposé et standardisé différents protocoles permettant de

fonctionnalité n'a pas été beaucoup utilisée et d'après les premières recherches, cette désaffection s'expliquerait par la complexité des protocoles de qualité du service et par la difficulté de la mise en œuvre de ces systèmes[2]. Les garanties sur la qualité du service sont plutôt fournies par l'emploi de technologies de réseau privé virtuel (VPN) telle que IP MPLS, qui revient en fait à un circuit dédié sur un réseau IP. Les fournisseurs Internet proposent généralement des services VPN aux entreprises, sans qu'il en résulte de perturbations notables sur le reste du trafic Internet.

Pour certains commentateurs, la différenciation des niveaux de service constitue une bonne occasion d'améliorer la qualité du service sur les réseaux et de fournir des liaisons de très bonne qualité aux applications sensibles à la rapidité de transmission, comme les applications audio et vidéo. Pour d'autres, des changements du modèle d'architecture actuel risquent de déstabiliser un certain nombre des modèles d'entreprise qui ont réussi sur l'Internet, ou pire, d'inciter les FAI à adopter des pratiques anti-concurrentielles et à bloquer ou ralentir certains types de transmissions concurrentes.

La gestion des priorités du trafic (transmission prioritaire / mise en file d'attente)

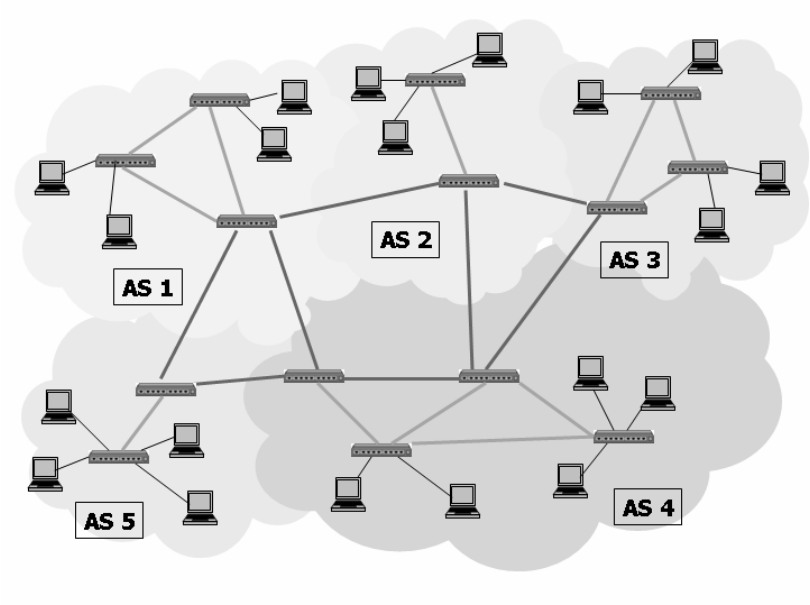
Depuis les débuts de l'Internet, les administrateurs de réseaux ont eu pour tâche de gérer le trafic Internet. Quand le trafic des internautes excède les capacités de routage et de transmission du réseau, les administrateurs doivent intervenir : en envoyant les paquets par un autre itinéraire, en plaçant des paquets dans une mémoire tampon pour les retarder ou carrément en supprimant des paquets. Cette file d'attente peut être gérée suivant le principe du premier arrivé, premier servi – sans qu'il soit tenu compte de la source ou du caractère des paquets – ou d'une autre manière. Toute modification des procédures de file d'attente (hiérarchisation) sur l'Internet doit être effectuée au niveau technique par les administrateurs des réseaux. Ces administrateurs disposent d'outils puissants qui leur donnent un certain contrôle sur les données qui transitent sur leurs réseaux. L'un de ces outils est la possibilité de « mettre en forme » les flux de trafic de données.

La mise en forme du trafic (aussi appelée mise en forme des paquets ou structuration du trafic) est un instrument technique de contrôle et de gestion de la transmission des données sur un réseau. Elle permet aux administrateurs de réseau de contrôler les flux de données qui entrent sur le réseau afin de distinguer les différents types de trafic (les paquets de données) et de les traiter de façon différenciée. Ils peuvent alors réserver un traitement prioritaire à certaines applications ou à certains services par rapport aux autres. Certaines technologies de mise en forme du trafic sont depuis longtemps à la disposition des administrateurs de réseau pour contrôler les flux de données qui transitent sur leurs réseaux. Par exemple, ils peuvent recourir à la mise en forme du trafic afin de lisser les flux et d'éviter les engorgements de réseau, le plus souvent dans l'objectif d'améliorer le confort de navigation de l'internaute. En revanche, les administrateurs ne disposaient pas jusqu'à présent d'équipements permettant de réaliser à grande vitesse l'inspection de l'intérieur des paquets et leur hiérarchisation. C'est l'une des raisons pour lesquelles la question de la hiérarchisation est très débattue en ce moment, alors que la classification du trafic « par type de service » est possible depuis longtemps avec le protocole IP.

---

contrôler la qualité du service sur les réseaux IP comme l'architecture appelée DIFFSERV, qui réutilise cet octet, mais qui en fait n'a pas remporté beaucoup de succès depuis son développement en 1998.

Figure 1. Les relations entre réseaux permettant la transmission des données



Source : http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~gnakao/images/internet-topology.png.

Actuellement, la plupart des routeurs de grands réseaux se transmettent l'information selon le principe du « premier entré, premier servi ». Cependant, le débat actuel sur la « neutralité du réseau » porte notamment sur la question de savoir si ces routeurs doivent continuer à faire transiter les paquets, notamment les courriers électroniques, selon la règle de l'égalité, ou si les administrateurs de réseau doivent être autorisés à affecter des niveaux de priorité différents selon les paquets, d'un bout à l'autre de leur trajet.

La Figure 1 est un schéma très simplifié qui montre comment de petits réseaux peuvent être interconnectés pour former un morceau d'Internet. Chaque numéro de Système Autonome (AS) représente un réseau simple ou un ensemble de réseaux administrés par une même entité, laquelle utilise généralement une méthode unique de routage. Fondamentalement, chaque administrateur de réseau peut fixer ses propres niveaux de priorité pour les différents types de transmission à travers son réseau. Il faut savoir que les gestionnaires de réseaux ne peuvent pas assurer unilatéralement une certaine qualité de service à un client donné, dans la mesure où la plupart des communications sur l'Internet traverse plusieurs réseaux. Un opérateur de réseau n'a de prise sur la qualité du service que sur son propre réseau, sauf à avoir passé des accords avec d'autres réseaux pour tenir compte réciproquement de leurs règles de hiérarchisation. Dans la figure 1, un internaute situé sur le réseau AS 1 doit traverser le réseau AS 2 ou le réseau AS 4 pour accéder à un contenu situé sur le réseau AS 3. Par conséquent, les opérateurs du réseau AS 1 peuvent assurer une meilleure qualité de service pour le trafic qui transite à l'intérieur de leur réseau, mais il est peu probable qu'ils aient mis en place des accords pour assurer une qualité améliorée sur tout le parcours entre le réseau AS 1 et le réseau AS 3. Si à l'avenir, on souhaitait garantir une qualité de service améliorée, il faudrait mettre en place une coordination entre une multitude de réseaux et des protocoles de transmission spécifiques aux différentes applications.

Les administrateurs peuvent « mettre en forme » et « hiérarchiser » le trafic au niveau du routeur en installant des outils logiciels ou matériels capables d'examiner l'adresse IP et le port de destination, ainsi que le contenu du paquet IP, pour déterminer sa « valeur » avant de le retransmettre. Ce type de logiciel de mise en forme du trafic offre aux opérateurs de réseau une grande flexibilité dans la détermination des paquets et des transmissions prioritaires sur tel ou tel réseau.

Les outils actuels de mise en forme du trafic sont très puissants et donnent aux administrateurs de réseaux la possibilité de passer en revue et de classer par ordre de priorité un vaste ensemble d'applications et de données. Le Tableau 1 présente un échantillon de quelques types d'applications et de données parmi plus de 500 qu'un seul fabricant affirme, dans sa publicité, que son produit permet de détecter et de contrôler sur un réseau WAN. Des solutions matérielles pour surveiller, contrôler et hiérarchiser le trafic existent aussi pour les gros réseaux porteurs. Par exemple des équipements pour réseaux porteurs tels que Cisco Service Control Engine (SCE) 2000 peuvent réaliser une inspection en profondeur des paquets à « des débits de plusieurs gigabits et jusqu'à 10 gigabits ».[3] Le SCE 2000 de Cisco reconnaît plus de 600 protocoles et applications et peut effectuer un filtrage adaptatif du trafic IP au niveau de la couche d'application et contrôler ce trafic en fonction de règles qui peuvent être définies par l'utilisateur.[4]

Tableau 1. Quelques-unes des applications pouvant être suivies, contrôlées et hiérarchisées

P2P	Téléphonie IP	Multimédia	Jeux	Messageries
Aimster	CiscoCTI	Abacast	Asheron's Call	AOL (IM,
Apple-iTunes	Clarent	MotionVideo using	Battle.net	Talk, Image, File,
AudioGalaxy	CUSeeMe	DIGStream	Diablo II	ISP)
Bit Torrent	Dialpad	MPEG(AudioVidéo)	Doom	iChat
Blubster	H.323	Multi-cast NetShow	EverQuest	ICQ
DirectConnect	I-Phone	NetMeeting	Half-Life	IRC
EarthStation V	iChat	Ogg over HTTP	Kali	Lotus IM
EDonkey	MCK Commun.	QuickTime	LucasArts (Jedi)	MSN Messenger
Emule	Megaco	RadioNetscape	MSN Zone	Windows-POPUP
Gnutella	Micom VIP	Real (Audio, Vidéo)	Mythic	Yahoo! Messenger
Grokster	MGCP	RTP	Quake I, II, & III	
Groove	Net2Phone	RTSP	SonyOnline	
Hopster	RTP	SHOUTcast	Tribes I, II	
Hotline	RTCP	Streamworks	Unreal	
iMesh	SIP	VideoFrame	Warcraft III	
Limewire	Skinny (SCCP)	WebEx	WorldofWarcraft	
KaZaA	Skype	WinampStream	XboxLive	
KaZaA Lite	T.120	WinMedia	Yahoo! Games	
Morpheus	VDOPhone			
Napster	Vonage			
Napigator				
+ 50 autres				

Source : Packeteer, à l'adresse http://www.packeteer.com/resources/prod-sol/ApplicationDiscovery.pdf.

Concrètement, un FAI ou un opérateur de réseau peut distinguer un ou des services, une des applications figurant dans ce tableau et décider de le (ou la) bloquer ou de l'autoriser. Les opérateurs peuvent aussi attribuer des niveaux de priorité à un service ou à une application particuliers, ou même leur réserver une partie de la bande passante. Ainsi, par exemple, un FAI peut proposer aux joueurs assidus un niveau de service supérieur, et allouer une bande passante dédiée à tel ou tel jeu figurant dans une liste. Les FAI peuvent aussi promouvoir des connexions à haut débit qui bloquent le partage de fichiers en *peer-to-peer* (P2P), afin de garantir un débit plus rapide à tous ceux de leurs clients que n'intéressent pas de tels services. Un certain nombre de produits de mise en forme du trafic permettent aux opérateurs de réseau de définir des paramètres en fonction de l'application, ou en fonction de l'utilisateur[5]. Il peut s'agir des mêmes outils que les FAI utilisent pour filtrer le spam ou pour bloquer les intrusions malveillantes dans les ordinateurs de leurs clients.

Des technologies de mise en forme des paquets sont actuellement à la disposition des FAI et des opérateurs de réseau, mais les routeurs de l'Internet ne sont généralement pas configurés pour examiner le contenu des paquets. On peut penser que dans l'avenir, les opérateurs continueront d'utiliser de plus en

plus leurs outils de mise en forme des paquets, principalement pour répondre à des exigences de nature commerciale.

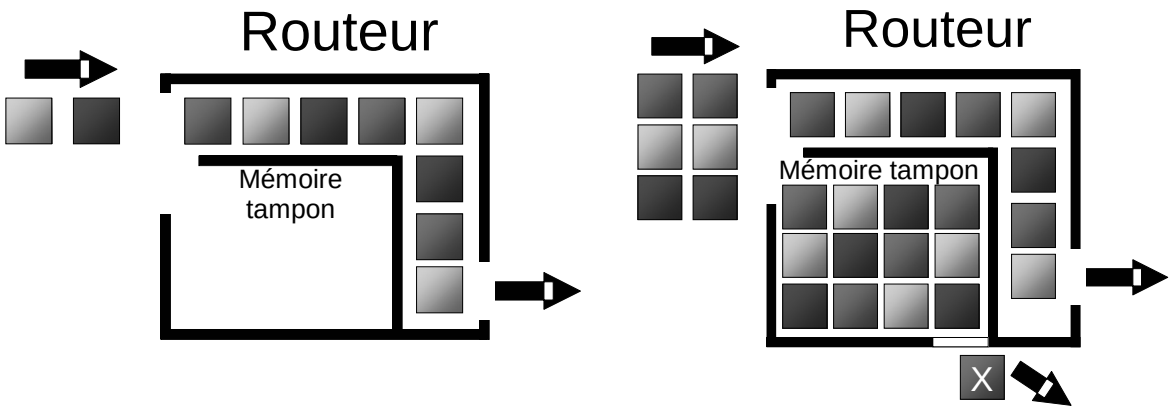
Les règles de mise en forme du trafic

Une fois que les administrateurs de réseau ont installé des systèmes de mise en forme du trafic sur le réseau, ils doivent définir des règles internes pour le traitement des différents types de paquets. Ces règles internes de routage peuvent être classées selon trois grandes catégories : meilleur effort, hiérarchisation en cas de besoin, et hiérarchisation active (voir Tableau 2).

Sauf dans le cas de la hiérarchisation active, la décision de renvoyer ou de retarder les paquets ne sera déclenchée et appliquée que durant les périodes d'encombrement du réseau au niveau du routeur. Comme l'ont souligné Felten et Halderman, les mécanismes de mise en mémoire-tampon du routeur jouent un rôle fondamental dans ce processus[6]. Les mémoires-tampons aménagées dans les routeurs servent à gérer les pics imprévisibles du trafic sur un lien donné : elles peuvent recevoir temporairement des paquets entrants même en l'absence de capacité de sortie suffisante pour retransmettre ces derniers immédiatement. Lorsque le volume des transmissions est peu élevé, le routeur est capable de retransmettre les données dès leur arrivée (à gauche dans la figure 2). Lorsque la capacité du réseau est suffisante, les transmissions au meilleur effort sont toutes traitées suivant le principe du premier arrivé, premier servi, et par conséquent, aucun des paquets qui traversent le routeur n'est retardé.

Cependant, lorsque le réseau est encombré, le routeur ne peut pas retransmettre tous les paquets qu'il reçoit, et il doit en stocker certains en mémoire-tampon pour les retransmettre plus tard, lorsque le réseau sera moins sollicité. Ce système de mise en mémoire-tampon est satisfaisant pendant les pics du trafic, qui sont temporaires, mais il peut vite y avoir des problèmes si le réseau est sollicité de façon importante et prolongée et si, par suite, la mémoire-tampon du routeur est saturée.

Figure 2. Différents états de trafic au niveau du routeur (fluide) gauche et encombré (droite)



Les règles appliquées par le routeur doivent déterminer la façon dont seront traités les paquets supplémentaires qui arrivent au moment où la mémoire-tampon est entièrement saturée (à droite sur la Figure 2). Le routeur devra, soit écraser une partie des données de la mémoire-tampon pour faire de la place, soit bloquer tout nouveau paquet à l'entrée. Le plus souvent, les routeurs sont configurés pour écraser d'abord les paquets les plus anciens de la mémoire-tampon, et libérer ainsi de l'espace pour les nouveaux paquets qui arrivent. Avec les protocoles Internet actuels, il importe de remarquer que cela ne pose pas forcément de gros problèmes, dans la mesure où les applications situées du côté de la réception peuvent détecter la perte des paquets et demander à l'ordinateur dont ils proviennent de ralentir le rythme

auquel il les envoie (avec UDP) ou d'envoyer à nouveau tout paquet dont il n'a pas reçu la confirmation de sa livraison (TCP)[ii]. Du point de vue des règles à appliquer, une des questions stratégiques les plus importantes qui se posent à propos d'un Internet à plusieurs vitesses est de savoir quels paquets les routeurs doivent éliminer en premier.

Tableau 2. Les catégories de règles de routage

1. Meilleur effort	2. Hiérarchisation en cas de besoin	3. Hiérarchisation active
Lorsque des paquets parviennent au routeur plus vite qu'il n'est possible de les retransmettre, ils sont stockés dans une mémoire-tampon jusqu'à ce qu'ils aient le feu vert. Si la mémoire-tampon est saturée, alors, les paquets sont supprimés en fonction du temps qu'ils ont passé dans la mémoire-tampon, et non pas en fonction du type de données qu'ils contiennent.	Là encore, lorsque la bande passante de sortie est insuffisante, les paquets sont temporairement stockés en mémoire-tampon. Lorsque la mémoire-tampon est saturée, les paquets sont supprimés en fonction de préférences établies par l'opérateur de réseau. Les paquets dont le contenu représente une moindre valeur sont supprimés en premier.	Des paquets peuvent être conservés ou supprimés d'une mémoire-tampon même s'il reste de la bande passante disponible en sortie. Un opérateur peut déterminer que certaines applications n'ont droit qu'à un pourcentage limité de la bande passante de la ligne, et créer ainsi une contrainte volontaire sur le trafic. Enfin, le trafic envoyé à certains ports peut être purement et simplement bloqué.
Tous les paquets sont traités selon la règle du premier entré, premier sorti (FIFO). Aucun paquet n'est prioritaire en fonction de son contenu. Dans les périodes d'encombrement, des paquets de n'importe quel type peuvent être supprimés.	Les paquets sont traités selon la règle du premier entré, premier sorti (FIFO) tant qu'il n'y a pas d'encombrement. Lorsque c'est le cas, la priorité est donnée à certains paquets, qui passent alors au début de la file d'attente.	Les paquets sont analysés lorsqu'ils entrent dans le routeur et sont classés par ordre de priorité, même si la bande passante sur la liaison sortante est suffisante.

Source : OCDE, Felten et Halderman.

Les administrateurs de réseau peuvent choisir de traiter tout le trafic sur le principe du « meilleur effort » et de supprimer simplement de la mémoire-tampon les paquets les plus anciens parmi ceux qui attendent leur tour pour être retransmis. L'inconvénient d'une interprétation stricte du principe du meilleur effort est qu'elle ne laisse pas aux utilisateurs la souplesse qui leur permettrait de définir des niveaux de priorité différents pour leurs propres transmissions sur le réseau. Or, lorsque le routeur est obligé de sacrifier une partie des paquets, les utilisateurs peuvent vouloir, par exemple, que le trafic de téléphonie soit prioritaire par rapport à une simple navigation sur l'Internet.

Comme il a été dit précédemment, les usagers peuvent utiliser des applications telles que la voix sur IP (VoIP), pour lesquelles la livraison des paquets en temps réel est indispensable. Les opérateurs de réseau peuvent alors choisir de mettre en application des règles de routage donnant la priorité à certains types de paquets entrants par rapport aux autres plutôt que d'augmenter la capacité globale du réseau. De telles préférences en termes de routage n'entreraient en jeu qu'en cas d'encombrement sur la liaison sortante du routeur. L'administrateur du réseau pourrait donner la priorité à certains paquets pour lesquels un débit de livraison rapide et régulier serait jugé plus important. Ce type de règle de routage relève de la deuxième catégorie, celle de la « hiérarchisation en cas de besoin », la priorité n'étant assignée à certains paquets que lorsque l'encombrement du réseau l'exige.

Enfin, la troisième catégorie, celle de la « hiérarchisation active », désigne des règles de routage permettant de retenir ou de bloquer certains paquets systématiquement, même lorsque la bande passante est suffisante sur la liaison sortante. Dans ce cas de figure, les opérateurs de réseau ont la possibilité d'allouer une partie de la bande passante à certaines applications en particulier. Ainsi, par exemple, les paquets envoyés par des applications de type *peer-to-peer* (P2P) peuvent être limités à 5 % du trafic total sur une

[ii] Un glossaire des acronymes figure à la fin de ce document.

ligne donnée. Une fois que les paquets de type P2P ont atteint la limite des 5 %, tout paquet supplémentaire est transféré en mémoire-tampon ou purement et simplement supprimé. Même si les 95 % restants de la capacité de la ligne restent disponibles, ces règles de routage limitent la bande passante utilisable par certaines applications et par leurs paquets.

La hiérarchisation entre les paquets ne se limite pas à la suppression pure et simple de certains d'entre eux. Les règles que suivent les routeurs peuvent consister à faire passer les transmissions prioritaires en tête des files d'attente, même lorsque les mémoires-tampons ne sont pas saturées, et à rétrograder des paquets moins prioritaires arrivés plus tôt. Les routeurs peuvent faire passer en tête de file d'attente les paquets correspondant à une communication téléphonique, aux dépens des requêtes de navigation sur l'Internet, lesquelles supportent mieux les retards d'acheminement. Un tel changement d'ordre ne se produira que lorsqu'il sera nécessaire de retarder certains paquets, compte tenu de contraintes sur la sortie du routeur. Une hiérarchisation active est possible également, qui retardera ou étalera dans le temps la retransmission des paquets peu prioritaires même si une liaison sortante était disponible.

Une des questions essentielles qui se posent dans ce débat est de savoir qui détermine quels paquets, quelles applications ou quels ports doivent être considérés comme sensibles aux temps de transfert et dignes d'être prioritaires. Avec la « hiérarchisation en cas de besoin », pour que les internautes soient gagnants il faudrait qu'ils puissent eux-mêmes fixer les niveaux de priorité des différentes applications. Dans une certaine mesure, c'est déjà possible grâce aux routeurs/commutateurs individuels qui offrent des possibilités de mise en forme des paquets sur leurs propres réseaux (voir Encadré 1). Il faut souligner que le contrôle qu'a l'internaute sur la mise en forme de son trafic se limite à son réseau domestique et n'a pas d'impact sur l'infrastructure de l'opérateur du réseau – hormis le débit auquel le routeur domestique transmet le trafic sortant vers la ligne haut débit et le débit auquel il reçoit les paquets entrants.

Encadré 1. La structuration du trafic à l'initiative de l'utilisateur final

Certains fabricants d'équipements domestiques (par exemples de modems et de routeurs) prévoient maintenant des dispositifs permettant à l'utilisateur de définir des niveaux de priorité de la bande passante pour les applications et les services qu'il utilise le plus. Ces dispositifs sont particulièrement appréciés des joueurs assidus et des utilisateurs d'applications de VoIP, car ils permettent de donner la priorité à certaines applications, dans les transmissions à travers le routeur et à la sortie du modem, notamment par rapport aux transmissions via l'Internet qui ne sont pas sensibles au temps de transfert.

De façon générale, l'utilisateur peut établir des priorités basées sur l'adresse MAC de l'équipement ou via une série de ports couramment utilisés par telle ou telle application. Un tel contrôle est limité au réseau interne de l'utilisateur. Ce dernier peut prendre le contrôle de ses connexions vers l'Internet jusqu'au point à partir duquel ces connexions quittent son modem et sont transmises au fournisseur d'accès (FAI). A partir de ce point, le flux de données à travers le réseau fonctionne généralement selon le principe du « meilleur effort », sans garantie du niveau de service.

Les utilisateurs expérimentés n'auront peut-être aucune difficulté à maîtriser le processus de définition des priorités pour leurs connexions, mais les utilisateurs moins avertis risquent de trouver la procédure déroutante. Bien que cette procédure risque d'être trop technique pour certains utilisateurs, la pénétration des outils de mise en forme du trafic au niveau des routeurs domestiques montre comment la mise en forme du trafic peut être un moyen efficace d'améliorer la qualité du service sur une connexion haut débit, surtout si l'utilisateur en a le contrôle.

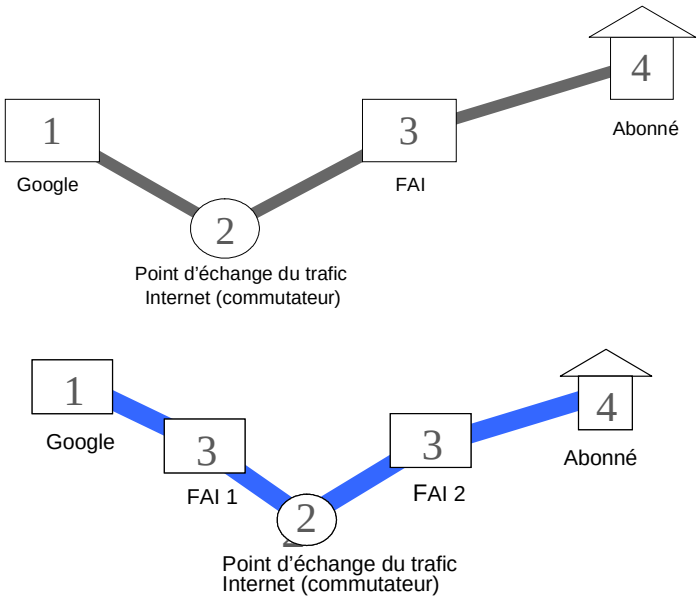
Les points de contrôle de la mise en forme du trafic

La mise en forme du trafic peut s'effectuer au niveau de n'importe quel routeur, tout au long du trajet sur lequel se fait la transmission d'un paquet. Toutefois, on distingue quatre points de contrôle fondamentaux au niveau desquels la structuration peut s'effectuer le plus efficacement possible pour changer la manière dont le transit des paquets est assuré entre un fournisseur de contenus et un utilisateur final. La Figure 3 présente deux exemples théoriques de fourniture de données vidéo à un abonné. Les

relations entre les acteurs illustrées dans la figure 3 sont déterminées par des accords, lesquels ne couvrent généralement que l'échange et la fourniture de contenu, mais pas les niveaux de priorité. Voilà les points clés sur lesquels porte le débat sur la manière dont le trafic est hiérarchisé.

Il faut noter que les quatre points de contrôle illustrés dans la figure constituent une représentation simplifiée de l'itinéraire généralement beaucoup plus complexe qu'empruntent les paquets de données. Entre le fournisseur du contenu et l'internaute, une connexion type va généralement traverser 10 à 20 routeurs. La fourniture du contenu avec une qualité de service garantie nécessitera une coordination sur tout l'itinéraire des paquets.

Figure 3. Quatre points de contrôle pour la mise en forme du trafic



Dans l'exemple de la Figure 3 (haut), le fournisseur de contenu envoie une vidéo à l'utilisateur final via l'Internet. Le fournisseur de contenu pourra éventuellement facturer cette vidéo à l'abonné, mais il pourra aussi différencier le niveau de service facturé en contrôlant la façon dont la transmission de la vidéo part de son réseau. La priorité peut être donnée aux requêtes des abonnés qui payent, par rapport aux autres clients. Le premier point de contrôle (le point numéro 1) représente le lien direct entre le fournisseur de contenu et l'abonné.

Dans cet exemple, pour pouvoir fournir la vidéo, le fournisseur du contenu a besoin d'établir une relation avec le FAI de l'abonné. Cette relation peut être directe ou indirecte : soit il se connecte directement au FAI de l'utilisateur final (cas représenté en haut), soit il se connecte à un FAI, lequel dispose d'une liaison avec le FAI de l'utilisateur final (cas représenté en bas de la Figure). C'est à ce deuxième point de contrôle (intitulé 2) que la vidéo du fournisseur de contenu est transmise au FAI de l'abonné. Ce deuxième point de contrôle a fait l'objet d'un débat acharné, car c'est en ce point que les FAI peuvent exiger des fournisseurs de contenu qu'ils payent pour obtenir un accès prioritaire à leurs abonnés. Jusqu'ici, la gestion inter-réseaux s'est généralement faite selon le principe du meilleur effort. Au niveau du deuxième point de contrôle, des discussions ont déjà lieu concernant l'interconnexion d'égal à égal

(peering) et le transit payant, et si de nouvelles négociations portent sur le caractère prioritaire de certaines données, la question de la hiérarchisation du trafic devrait aussi arriver sur la table des négociations.

Le troisième point de contrôle est le réseau interne du FAI. Le FAI contrôle la façon dont les données sont retransmises au sein de son propre réseau. Les administrateurs peuvent faire en sorte que le réseau repère les données étiquetées « meilleur effort » au deuxième point de contrôle et leur donne un certain niveau de priorité sur tout le trajet jusqu'au domicile de l'abonné. C'est probablement au niveau de ce troisième point de contrôle qu'interviendrait le plus de mise en forme du trafic, car les opérateurs pourraient y définir en une seule fois des paramètres pour tous les routeurs de leur propre réseau.

Enfin, le modem/routeur situé chez l'utilisateur final constitue le quatrième point de contrôle fondamental pour l'attribution des priorités aux paquets, et c'est probablement là que se concentrera la mise en forme du trafic spécifiée par l'utilisateur. Toutes les données qui transitent entre l'utilisateur final et le fournisseur de contenu doivent passer par le modem/routeur fourni par le FAI. C'est ce qui permet à l'opérateur de réseau de mettre en forme le trafic directement à partir du modem ou de la « box » de l'utilisateur. Quant à ce dernier, de l'autre côté de son modem, il a effectivement la possibilité d'affecter une priorité à ses paquets sur son propre réseau interne.

Avec ces quatre points de contrôle, nous avons donné une représentation simplifiée du trafic sur le réseau. Il existe des configurations plus complexes de transmission et de réception des données, avec des systèmes de mémoire cache ou avec un transit entre plusieurs opérateurs de réseaux.

PRINCIPALES QUESTIONS ET DÉBATS DE POLITIQUE GÉNÉRALE

Nous avons vu les aspects techniques dans la section qui précède ; celle-ci traitera des principaux débats et des principales questions qui se posent concernant la hiérarchisation du trafic Internet. Les questions relèvent généralement d'une des quatre catégories suivantes : incitations, maintien de l'accès, propriété et contrôle de la bande passante et confidentialité. Chacun de ces thèmes fera l'objet d'une sous-section.

Les incitations

Vers de nouveaux réseaux

L'un des principaux objectifs de la politique des télécommunications est de créer un environnement concurrentiel, qui soit favorable aux investissements d'infrastructure. Avec la baisse des recettes des transmissions vocales qui a secoué les entreprises de télécommunications, beaucoup d'opérateurs cherchent activement de nouvelles sources de recettes, surtout lorsqu'ils envisagent des investissements importants dans la fibre. Certes, pour un certain nombre d'opérateurs, les recettes du haut débit ont plus que compensé le manque à gagner sur les transmissions vocales, mais la pression à la baisse des tarifs du haut débit qu'engendre la concurrence les incite tout de même à rechercher de nouvelles sources de revenu. La plupart des opérateurs de télécommunications proposent ou préparent des offres « multi play » combinant téléphonie, accès Internet et télévision.[7] Une autre source possible de revenu envisagée par les opérateurs consisterait à faire payer un supplément aux fournisseurs de contenu et aux utilisateurs pour une meilleure qualité service. Dans certains cas, les opérateurs ont fait valoir un lien de cause à effet entre la possibilité pour eux de facturer des niveaux de service différenciés et le niveau d'investissement en infrastructure qu'ils se proposent de réaliser.

Ce qui est cependant moins évident, c'est le lien entre le niveau de l'investissement en infrastructure et les décisions éventuelles des pouvoirs publics concernant la hiérarchisation du trafic. La question des déterminants de l'investissement en infrastructure est très disputée parmi les experts. De nombreux opérateurs de réseaux pensent que la hiérarchisation est un moyen plus économique de traiter les demandes croissantes de bande passante plutôt que d'ajouter une grande quantité de capacité brute. Actuellement, les opérateurs continuent d'investir abondamment pour améliorer l'infrastructure malgré l'absence de décision réglementaire ferme concernant la hiérarchisation du trafic. Dans les économies où il existe un bon niveau de concurrence, les niveaux d'investissement devraient demeurer soutenus, car les opérateurs sont en émulation.

Vers de nouvelles applications avec qualité du service QoS

Un vaste ensemble d'innovations se profile à l'horizon, pour lesquelles une meilleure qualité de service que ce que permet l'Internet actuel sera sans doute indispensable. La possibilité de définir des priorités pour certaines applications sera une chance pour les consommateurs comme pour les prestataires, à condition, bien sûr, que le marché soit suffisamment concurrentiel. La question n'est pas de savoir s'il convient ou non d'autoriser un système de discrimination des paquets de données pour la QoS, mais plutôt de savoir comment protéger les consommateurs contre les pratiques anti-concurrentielles, comment faire en sorte que consommateurs aient toujours la possibilité de choisir les services qu'ils veulent, et comment permettre à l'internaute de déterminer quels paquets seront prioritaires dans la transmission.

Comme innovation, on pourrait imaginer que les opérateurs proposent des services à priorités différenciées adaptés aux différents utilisateurs. Ainsi, par exemple, un opérateur pourrait vendre une connexion haut débit optimisée pour les transmissions pour l'accès VPN (réseau virtuel) entre une entreprise et ses télétravailleurs. Le même opérateur pourrait aussi vendre aux joueurs assidus des services optimisant le *ping*, c'est-à-dire le temps de réponse, pour les jeux multi-joueurs en ligne. Ce nouveau type de services devrait améliorer le confort d'utilisation de l'Internet pour un grand nombre d'internautes.

Les tenants d'un Internet à plusieurs vitesses soulignent qu'il serait normal que les services d'urgence bénéficient de transmissions prioritaires sur l'Internet : par exemple le trafic de courrier électronique et de téléphonie lors d'une catastrophe naturelle ou les liaisons entre l'hôpital et des équipements médicaux essentiels au domicile des malades. Il serait très souhaitable pour ces applications de bénéficier de la qualité de service améliorée que peut offrir un VPN prioritaire.

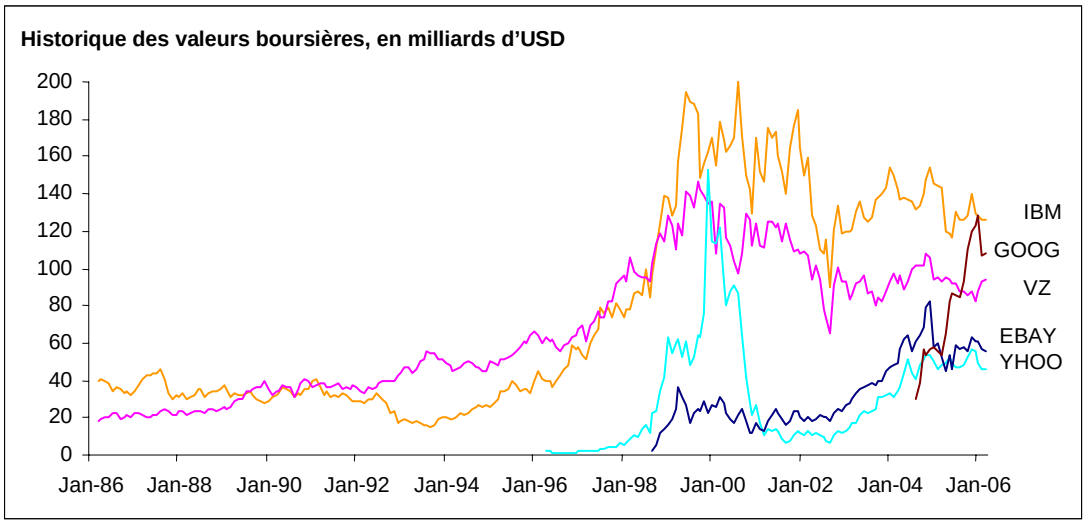
Offrir des qualités de service améliorées constitue en fait un bon moyen de promouvoir de nouveaux services et, de façon générale, d'améliorer et d'enrichir l'utilisation de l'Internet. Cependant, en ce qui concerne les progrès de la qualité du service, une question essentielle est de savoir s'ils sont utilisés pour augmenter ou réduire les intérêts du consommateur.

L'innovation à la périphérie du réseau

Certains des opposants d'un Internet à plusieurs vitesses mettent en garde contre un risque de frein à l'innovation à la périphérie du réseau. Parmi les plus grandes sociétés actuelles du secteur Internet, certaines sont nées de projets d'étudiants qui ont pu réussir parce que l'architecture de l'Internet leur assurait le même accès sans contrainte à la clientèle qu'ont les grandes entreprises influentes du secteur des médias. Le problème est que ces dernières pourraient payer plus pour que leurs transmissions soient prioritaires, mais que les petites entreprises en développement n'en auraient pas les moyens.

Il est clair que la structure actuelle de l'Internet a permis une réduction des barrières à l'entrée pour les « start-ups », et que c'est ainsi que celles-ci ont pu connaître une croissance rapide et soutenir la concurrence face aux entreprises bien implantées. Parmi les sociétés qui ont réussi à se développer autour de l'Internet, on peut citer Yahoo, EBay et Google. La valeur boursière de ces jeunes entreprises est montée en flèche jusqu'à rivaliser avec celle d'IBM et d'entreprises des télécommunications comme Verizon (voir Figure 4).

Figure 4. Historique des valeurs boursières de sociétés nouvelles et traditionnelles du secteur technologique



Ebay, Yahoo, Google et Amazon ont pu faire une percée sur leurs marchés respectifs à une échelle qui n'était pas envisageable avant l'avènement de l'Internet. L'Internet a réduit les barrières à l'entrée à grande échelle sur un certain nombre de marchés de consommation, ce qui a entraîné davantage de concurrence et de bienfaits pour les consommateurs dans plusieurs secteurs. Aujourd'hui, certains analystes craignent qu'une structure à plusieurs niveaux n'engendre une nouvelle barrière à l'entrée et ne nuise à l'innovation dans les secteurs périphériques. Avec de nouvelles barrières, la pénétration de la concurrence sur le marché serait plus limitée. On ne sait cependant pas précisément comment serait tarifé l'accès à des transmissions plus rapides, ni quelle charge supplémentaire cela représenterait pour les nouvelles entreprises. D'un autre côté, l'apparition de connexions garanties et de meilleure qualité pourrait aussi stimuler l'innovation pour les services qui ont besoin de ce type de liaisons.

Il faut savoir que, pour des raisons économiques, les entreprises font déjà des choix en matière d'hébergement qui limitent leur visibilité pour les internautes, et l'instauration d'un système de priorités dans le traitement du trafic n'aurait pas forcément un impact considérable sur les sites web de petite dimension. Dans le système Internet actuel, un petit site web est évidemment confronté à des obstacles techniques et économiques qui pénalisent la compétitivité de son commerce électronique par rapport aux sociétés fortement implantées sur l'Internet. Premièrement, les petites sociétés hébergent rarement elles-mêmes le contenu qu'elles veulent installer sur l'Internet. Le plus souvent, elles achètent des services d'hébergement à un tiers, par l'intermédiaire d'un FAI. Les propriétaires et les administrateurs de sites Internet doivent déjà décider de quel volume de bande passante ils ont besoin pour leurs sites, et payer en conséquence, en fonction des mécanismes du marché.

Il arrive qu'un site Internet suscite soudain un intérêt considérable, atteigne sans crier gare le maximum de bande passante auquel il a droit ; il cesse alors de fonctionner (on parle d'effet « Slashdot » ou d'effet « Digg »). Dans ce cas, les administrateurs du site doivent passer à une formule d'hébergement plus onéreuse, capable de supporter le volume de trafic élevé du site. Au contraire, les entreprises bien établies sur l'Internet gèrent souvent leurs propres réseaux et passent des accords d'interconnexion d'égal à égal ou de transit payant directement avec les grands fournisseurs d'accès Internet.

Une infrastructure Internet à plusieurs vitesses ne devrait pas changer significativement les temps de chargement des pages des petites entreprises qui publient des pages web « légères ». En revanche, les différences pourraient être bien plus prononcées pour des petites entreprises qui fournissent des services nécessitant des temps de transfert rapides et une bande passante élevée, comme la vidéo ou la voix. Par exemple, des sociétés qui offrent des services de messagerie instantanée vidéo ou qui diffusent de la vidéo gourmande en bande passante, auront sans doute besoin d'opter pour un niveau de service plus élevé.

La production de nouveaux contenus

Le déploiement rapide des connexions haut débit dans les pays de l'OCDE et dans le reste du monde a entraîné une expansion de la demande de contenus sur l'Internet. Les médias développent leur offre de contenus en ligne, mais aussi de plus en plus d'internautes produisent et développent leurs propres contenus pour les mettre en ligne à la disposition de tous. Les pouvoirs publics sont souvent attachés à encourager cette participation accrue des abonnés ; dans le débat sur la hiérarchisation du trafic, il faut aussi prendre en considération l'effet qu'auraient de telles mesures sur les internautes en tant que créateurs de contenu.

Les analystes débattent maintenant de la question de savoir où ce nouveau contenu sera stocké et comment l'on y accèdera à l'avenir. Il a été envisagé que le stockage et la publication de contenus sur l'Internet puissent se faire à partir des réseaux locaux des abonnés plutôt que des sites d'hébergement Internet. Dans une telle situation, les utilisateurs stockeraient toute leur musique, leur vidéo et leurs photographies sur leur propre micro-ordinateur – ou sur un serveur individuel dédié – auquel on pourrait

alors accéder de n'importe où sur l'Internet, à l'aide de différents appareils. Avec un tel modèle de stockage et de distribution de contenu, la connexion de l'abonné serait très sollicitée, puisqu'un ordinateur du réseau résidentiel deviendrait le point d'accès central ou le serveur pour accéder aux contenus proposés par cet utilisateur.

Il se trouve que la plupart des fournisseurs haut débit interdisent actuellement les utilisateurs finaux d'utiliser des logiciels serveurs sur leurs ordinateurs, ce qui équivaut en pratique à interdire la retransmission de contenus de l'ordinateur de l'abonné vers le réseau Internet. Les techniques de structuration du trafic permettent facilement d'y veiller. Comcast, le plus gros fournisseur haut débit des États-unis, avec 9.3 millions d'abonnés, interdit formellement à ses clients d'avoir des services ou des contenus en local qui seraient visibles depuis l'Internet public. Sa charte d'utilisation stipule que :

« Les utilisations interdites sont notamment, mais pas uniquement, l'utilisation du service, d'équipements d'abonné ou d'équipements de Comcast pour : faire fonctionner depuis vos propres locaux des programmes, des équipements ou des serveurs fournissant du contenu en réseau ou tout autre service à des tiers à l'extérieur de votre propre LAN (Réseau Local), ce que l'on appelle aussi couramment des services ou des serveurs publics. Les services et serveurs interdits sont notamment, mais pas uniquement, le courrier électronique, l'hébergement Internet, le partage de fichiers et les services et serveurs proxy[8]*. »*

Ces interdictions ont obligé les utilisateurs à recourir à des sites Web tiers pour héberger leurs contenus et les rendre accessibles sur l'Internet. Flikr (photographies numériques) et YouTube (vidéo) sont des exemples de sites Internet qui rassemblent les contenus des utilisateurs et les placent en accès libre. Ces sites fonctionnent bien pour les petits clips comme pour un nombre relativement restreint de photos, mais ils ne répondent pas au désir des utilisateurs de pouvoir accéder de façon satisfaisante à l'ensemble de leurs supports numériques de chez eux.

Les FAI pourraient apporter différentes réponses à ce problème. Ils pourraient accepter l'idée que les consommateurs accèdent à leurs réseaux domestiques à travers l'Internet et aller jusqu'à proposer de nouvelles prestations avec des garanties de qualité du service et des transmissions prioritaires pour les connexion en provenance ou à destination du serveur domestique de l'utilisateur. Il serait aussi logique d'envisager des formules haut débit permettant aux utilisateurs, pour certaines applications de serveur domestique, d'utiliser des vitesses haut débit « modulables ». Ainsi, la généralisation d'un modèle à plusieurs vitesses pourrait être une bonne nouvelle pour les utilisateurs désireux de pouvoir accéder aux contenus de leurs réseaux domestiques depuis l'extérieur.

Un des inconvénients que peut présenter une telle formule d'Internet à plusieurs vitesses est que les fournisseurs d'accès Internet verticalement intégrés risquent d'être peu enclins à proposer de la bande passante prioritaire pour les contenus média situés sur des serveurs résidentiels, dans la mesure où ces contenus concurrenceraient directement leurs propres offres de contenus vidéo et autres diffusés sur réseaux fixes ou mobiles.

Là encore, dans ce débat, on en revient au niveau de concurrence sur le marché. Des marchés efficients permettront l'apparition de nouveaux FAI, qui répondront directement aux besoins des abonnés particuliers désireux d'une garantie d'accès à leur serveur domestique. Les prestataires qui bloqueraient ces services seraient poussés par la concurrence à changer de politique, dans la mesure où leurs concurrents, eux, les proposeraient. Dans une telle situation, l'accès ouvert au dernier kilomètre, dans les zones où il existe, contribuerait à accroître le niveau de la concurrence en permettant à de nouveaux prestataires d'offrir un réseau haut débit adapté aux besoins de l'usager, et non plus simplement à ceux du FAI.

Maintenir l'accès

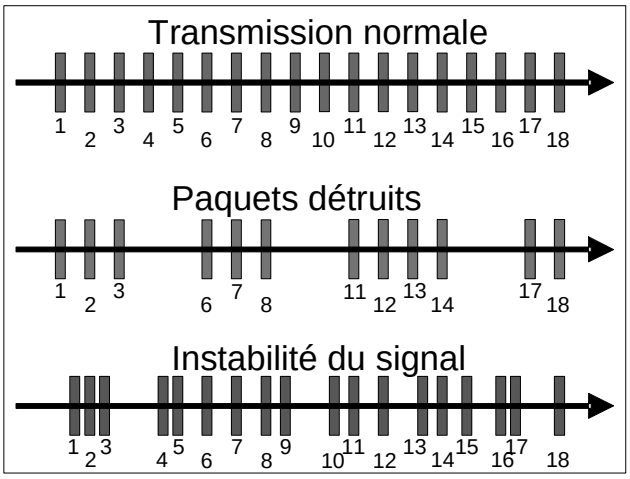
Dans cette section, nous allons examiner les risques d'utilisation des outils de mise en forme du trafic à des fins anti-concurrentielles pour perturber ou bloquer certaines communications. Il ne s'agit pas de sous-entendre que de telles pratiques auront cours dans les pays de l'OCDE. Seuls un petit nombre de cas de comportements anti-concurrentiels ont été signalés et cela s'explique probablement par le niveau élevé de concurrence qui prévaut dans la plupart des marchés de l'OCDE. Cette section a plutôt pour objet de dresser un inventaire des types de comportements que les régulateurs et les responsables politiques devront surveiller et contrôler.

Parmi les applications qui bénéficieraient le plus d'une QoS améliorée sur le réseau, il y a aussi celles qui seraient le plus vulnérables à des pratiques anti-concurrentielles de mise en forme du trafic. Les applications sensibles sont par exemple les applications de prise de contrôle à distance, les jeux en ligne, la visioconférence en direct et la téléphonie par l'Internet, ou VoIP.

Les communications VoIP en particulier peuvent être fortement perturbées par des phénomènes de gigue sur le réseau, c'est-à-dire que les paquets arrivent selon un rythme non synchronisé (voir Figure 5). Les paquets peuvent arriver trop tôt ou trop tard. Cela s'explique par un certain nombre de raisons, notamment la nature saccadée du trafic sur l'Internet. Le terme « bursty » décrit des flux de données où la bande passante est très sollicitée pendant quelques secondes, suivies d'une longue période d'inactivité.

Les services VoIP exigent de très faibles temps de latence et un flux de trafic stable. Des fluctuations affectant une ou plusieurs caractéristiques du signal (par exemple l'amplitude, l'intervalle entre les impulsions, la fréquence ou la phase des cycles successifs) peuvent entraîner de la gigue sur les flux de communication VoIP et facilement rendre le service de téléphonie inutilisable[9]. De façon générale, l'oreille humaine est capable de distinguer un décalage d'une demi-seconde dans la transmission de la voix[10].

Figure 5. La transmission des paquets et la voix sur IP



La gigue peut se produire spontanément dans les réseaux de données, mais on sait en venir quasiment à bout grâce à la mise en forme du trafic et à la hiérarchisation des paquets sur le réseau. Les technologies de mise en forme du trafic peuvent lisser le flux de données afin d'empêcher la congestion au niveau des routeurs, voire donner la priorité au trafic voix. Toutefois, la gigue peut aussi être introduite dans un esprit anti-concurrentiel par les mêmes technologies. Les paquets VoIP peuvent être placés en bout de file d'attente et le rythme de transmission de la conversation s'en trouvera perturbé. Les internautes ne pourront pas facilement identifier la cause du problème car les autres applications continueront de

fonctionner normalement. Même les communications de téléphonie qui passent par un VPN crypté pourraient s'en trouver affectées. Un FAI qui souhaite brouiller les autres applications VoIP ne pourra pas forcément déterminer le contenu d'une connexion VPN cryptée, mais pourra toujours introduire de la gigue dans la transmission et dégrader les communications VoIP si elles passent dans le tunnel[11].

Pratiques anti-concurrentielles

Dans les débats autour de la hiérarchisation du trafic, on pense surtout aux menaces éventuelles que font peser sur la concurrence les opérateurs qui sont aussi prestataires de services et qui peuvent facilement configurer leurs réseaux de telle sorte que les autres opérateurs s'en trouvent désavantagés. Certains commentateurs soulignent ces risques[12], alors que d'autres ont affirmé qu'il s'agissait simplement d'un « faux problème[13] ». Des commentateurs[14] et des régulateurs[15] mettent en garde contre l'introduction de restrictions réglementaires sans éléments suffisamment probants attestant de pratiques anti-concurrentielles.

Dans certaines circonstances, les goulets d'étranglement du dernier kilomètre, qui se retrouvent dans toutes les industries de réseau, peuvent donner l'idée aux opérateurs de bloquer ou de limiter certains services concurrents si la concurrence n'est pas suffisante sur le marché.

On n'a enregistré que relativement peu de plaintes pour pratiques anti-concurrentielles mais le risque est bien réel et a déjà été souligné dans des études antérieures de l'OCDE[16]. Il est particulièrement important dans les zones où la concurrence sur le haut débit est limitée, mais on a aussi enregistré des plaintes isolées pour mise en forme du trafic dans des marchés très concurrentiels. Par exemple, le deuxième FAI du marché coréen, Hanaro Télécom, a accusé d'autres FAI de bloquer l'accès à son service de télévision en streaming, HanaTV. Ce service permet de recevoir de la VOD (vidéo à la demande) sur l'Internet au moyen d'une « box ». En octobre 2006, le Korean Times indiquait que les grands câblo-opérateurs Curix, C&M et HCN bloquaient complètement le service ou réduisaient la bande passante vers ce site. Le FAI LG Powercomm aurait également bloqué ce service. Hanaro estimait que 3 millions d'abonnés au haut débit en Corée ne pouvaient pas accéder à son service à cause de restrictions de trafic imposées par les FAI[17]. En décembre, la Commission des communications de Corée a statué que LG Powercomm devait laisser l'accès au service mais également que Hanaro n'avait pas respecté ses engagements avec Powercomm en omettant de consulter ce dernier avant d'offrir un service payant[18].

Le blocage de ports, quand il est pratiqué à des fins anti-concurrentielles, est relativement facile à détecter ; il attire vite l'attention des autorités nationales de régulation ou de réglementation de la concurrence. En réalité, les cas de mise en forme du trafic à des fins anti-concurrentielles qui n'aient pas été immédiatement réglés sont relativement rares dans l'OCDE. En revanche, il peut être beaucoup plus délicat de détecter une dégradation de service qu'un blocage pur et simple, car l'internaute n'est pas accoutumé à une qualité de service garantie dans les différentes applications Internet. Pendant les pics d'utilisation, les pages se chargent plus lentement que d'ordinaire. Mais beaucoup d'internautes seraient bien en peine de déterminer la cause du ralentissement, ce qui peut rendre plus difficile l'application des lois de protection de la concurrence.

On évoque aussi le risque que des opérateurs utilisent le traitement prioritaire des données comme un moyen de faire payer une « taxe » indirecte à leurs concurrents. Les FAI peuvent décider de faire payer leurs concurrents pour garantir la qualité du service pour les applications en temps réel - téléphonie et visiophonie – tout en l'assurant gratuitement pour leurs propres services. Le prix facturé par le FAI pour ce service amélioré, et le niveau de qualité des services en temps réel « non améliorés » déterminerait en fait s'il serait économiquement possible pour les abonnés de s'adresser à des fournisseurs concurrents. Mais lorsque la réglementation s'applique à des FAI dominants, ils sont souvent soumis à des obligations de non discrimination, qui interdisent un tel traitement différencié.

Les régulateurs devront s'intéresser de près aux marchés peu concurrentiels, surtout s'il apparaît que les opérateurs de réseaux ont intérêt à user de pratiques anti-concurrentielles et en ont la possibilité sans que l'utilisateur final puisse les discerner. Un opérateur pourrait par exemple favoriser spécifiquement certains paquets simplement en les envoyant vers leur destination par un chemin plus direct que celui assigné aux autres paquets, un procédé qui n'a aucun impact sur le fonctionnement des files d'attente. Un marché concurrentiel du haut débit avec de faibles coûts de transaction associés au changement d'opérateur permettrait d'éviter un certain nombre de ces problèmes.

Un accès sans entrave à l'information

Certains commentateurs mettent en garde contre une utilisation de l'analyse de paquets au niveau des routeurs qui viserait à porter atteinte à la liberté d'expression ou à limiter l'accès à l'information[19]. Bien que les techniques de mise en forme des paquets puissent assurément servir des buts positifs, les défenseurs de la liberté d'expression craignent qu'elles soient utilisées pour interdire l'accès à une information que les gouvernements ou les FAI pourraient chercher à tenir hors de portée des utilisateurs.

L'OpenNet Initiative (ONI), partenariat entre l'Université de Toronto et les universités de Harvard, de Cambridge et d'Oxford, a rassemblé une série d'études de cas permettant d'observer la manière dont se pratiquent le blocage et le filtrage de l'Internet dans certains pays du monde. L'ONI a ainsi constaté qu'en Chine, par exemple, la technique du filtrage des paquets au niveau du routeur joue un rôle clé dans le blocage de l'accès à l'information. L'ONI explique que les routeurs utilisés en Chine sur le réseau d'interconnexion sont capables de filtrer le contenu dans les deux sens au niveau du paquet, auquel peuvent être appliquées simultanément jusqu'à 750 000 règles de filtrage différentes[20].

Étant donné le niveau de la concurrence et la liberté d'expression dont jouissent les pays de l'OCDE, il est peu probable qu'un FAI puisse faire un filtrage politique par surveillance subreptice ou par structuration des paquets. Toutefois, les autorités de régulation doivent savoir que la technologie existe et qu'elle est utilisée en ce moment même à cette fin dans certains pays hors de l'OCDE.

L'utilisation du contrôle du trafic pour assurer la sécurité

Si le blocage des ports et la structuration du trafic peuvent en théorie être utilisés à des fins anti-concurrentielles, ces techniques peuvent aussi servir à renforcer la sécurité pour les utilisateurs. Par exemple, de nombreux FAI ont bloqué le trafic TCP sortant sur le port 25 pour empêcher l'envoi de spam à l'insu des internautes (ou de leur plein gré !). Les utilisateurs de courrier électronique doivent donc s'authentifier et ne peuvent envoyer de courrier que par le serveur de messagerie de leur FAI. Les technologies de mise en forme du trafic peuvent aussi servir à étaler les effets d'une attaque par déni de service lancée en parallèle à partir de plusieurs sources.

La propriété de la bande passante

Le rôle de la bande passante

La bande passante joue un rôle central dans les débats sur la neutralité du réseau, car ce sont souvent les goulets d'étranglement qui déclenchent le processus de hiérarchisation des paquets. Les adversaires d'une structure Internet à plusieurs vitesses font valoir qu'à bande passante constante, la généralisation de services différenciés impliquera nécessairement une baisse de la qualité de tous les autres services fonctionnant selon le principe du meilleur effort. Ce type d'argumentation repose souvent sur l'hypothèse que des encombrements surviennent sur le dernier kilomètre de réseau, mais ce n'est pas forcément le cas. Des phénomènes de congestion peuvent aussi survenir sur les liaisons de raccordement (« backhaul ») dans les cas où les opérateurs de réseau exploitent la bande passante au-delà de sa capacité.

Dans le débat sur la hiérarchisation du trafic, il importe de définir clairement de quelle bande passante on parle. Souvent les réseaux câbles et fibres utilisent déjà la majeure partie de la bande passante dont ils disposent pour des services autres que l'accès Internet. Les réseaux de télévision par câble réservent l'essentiel de leur capacité au signal de télévision et n'utilisent pour l'accès Internet que l'équivalent de quelques canaux. Les réseaux en fibre optique utilisent même parfois des lasers différents pour les services vidéo et de données. Par conséquent, les responsables politiques doivent d'abord décider quelle mesure de bande passante ils vont choisir pour leur analyse. Les débats sur la hiérarchisation du trafic devraient probablement se limiter aux seules fréquences réservées aux communications de données par Internet et vendues comme telles, sauf dans les cas où il n'existe qu'un seul fournisseur de bande passante sur un marché donné. Un opérateur fibre fournissant une liaison de 1 Gbit/s à une résidence peut annoncer « seulement » un débit Internet de 50 Mbit/s. Dans ce cas, seule la portion de 50 Mbit/s de la ligne doit être retenue dans l'analyse réglementaire.

L'impact de la plupart des types de hiérarchisation des données dépend de la bande passante disponible. Concrètement, les connexions haut débit de 100 Mbit/s offertes en Corée et au Japon sont sans doute assez conséquentes pour que l'attribution d'une priorité d'accès à certaines applications n'ait aucun effet sur les autres services. En revanche, sachant que dans 13 des 30 pays de l'OCDE, en septembre 2005, la meilleure offre de l'opérateur historique était inférieure à 3 Mbit/s, et qu'elle n'atteignait pas 10 Mbit/s dans 25 de ces 30 pays, une priorité d'accès pour certaines applications pouvait alors avoir un impact non négligeable sur les services concurrents dont les transmissions fonctionnent selon le principe du meilleur effort.

Par ailleurs, l'accroissement de la bande passante sur le tronçon de ligne qui relie l'utilisateur final pourrait atténuer les effets de deux des trois types de mise en forme des paquets. Pour les utilisateurs dont le trafic données est soumis soit au principe du meilleur effort soit aux systèmes de hiérarchisation en cas de besoin, un accroissement de la bande passante sur l'ensemble du réseau aurait un effet favorable. Avec l'augmentation de la capacité de sortie des routeurs, les mémoires-tampons seraient moins utilisées. Il n'y aurait besoin de mettre en forme ou de supprimer des paquets que pendant les pics de trafic, aussi une augmentation de la bande passante pourrait en atténuer les effets.

En revanche, sur les réseaux faisant l'objet d'une hiérarchisation active, l'augmentation de la bande passante sur l'ensemble du réseau n'impliquerait pas nécessairement un mieux pour les utilisateurs. Les administrateurs des réseaux pourraient se contenter d'allouer davantage de bande passante uniquement aux services, aux applications ou aux ports de leur choix. Par conséquent, avec davantage de bande passante disponible, on n'observerait pas nécessairement un progrès généralisé sur l'ensemble des applications Internet.

Les arguments selon lesquels, avec l'augmentation de la bande passante disponible, la hiérarchisation du trafic n'aura plus lieu d'être supposent que les opérateurs du réseau appliquent soit le principe du meilleur effort, soit une hiérarchisation en cas de besoin. Mais dans une configuration avec hiérarchisation active, les autorités de régulation et les responsables politiques ne doivent pas ignorer que l'accroissement de la bande passante n'aura peut-être pas d'impact sur certains services.

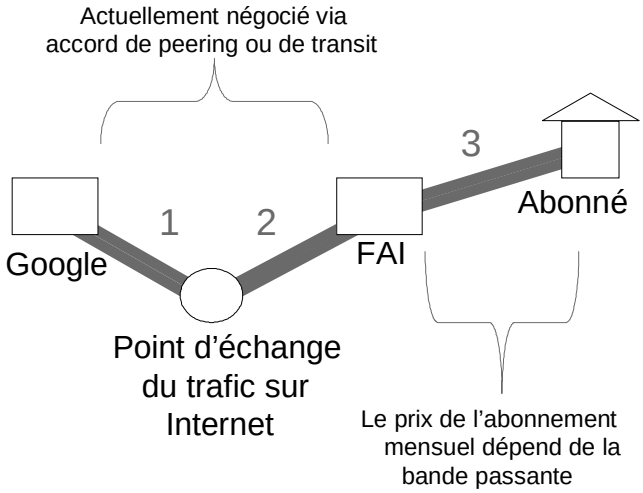
Les lignes sont-elles payantes ?

Le débat sur l'Internet à plusieurs vitesses a commencé à faire les titres des journaux après qu'aient été cités les propos du dirigeant d'un opérateur historique de télécommunications, aux États-unis, pour qui il n'était pas normal que les fournisseurs de contenu puissent utiliser « gratuitement » le réseau des FAI[21]. Il faut savoir, toutefois, que le système économique dans le contexte duquel se font actuellement les transferts de données sur l'Internet est déjà déterminé par des négociations financières entre différents opérateurs de réseaux et fournisseurs de contenu, que ce soit de façon directe ou indirecte.

Pour l'abonné haut débit, l'Internet apparaît comme une liaison transparente entre l'ordinateur de l'usager et le reste du monde connecté. Mais cette simplicité qui caractérise l'expérience de l'usager masque la complexité réelle et les considérations d'ordre économique qui sous-tendent les transferts de données sur l'Internet. Une étude récente de l'OCDE a montré que la circulation des données impliquait une série très complexe d'accords d'interconnexion d'égal à égal ou de transit payant entre les réseaux disparates qui constituent l'Internet[22].

Si l'Internet semble transparent pour ses utilisateurs, ce n'est que grâce à des négociations ininterrompues entre les différents opérateurs de réseaux sur la façon dont l'un doit gérer le trafic de l'autre. Si deux réseaux sont de taille similaire ou peuvent être considérés comme représentant une valeur équivalente l'un pour l'autre, ils peuvent décider de fonctionner « d'égal à égal » (peering) et d'assurer leurs terminaisons réciproques, moyennant ou non compensations financières. En revanche, si un réseau de taille modeste veut pouvoir accéder à l'ensemble de l'Internet grâce à une interconnexion avec un plus grand réseau, il peut aussi le faire, mais il devra payer un droit. Ce type d'échange, dans lequel un réseau s'acquitte d'un droit pour être interconnecté au reste de l'Internet en passant par un réseau plus grand ou plus sollicité, est appelé « transit ».

Figure 6. Pas de « franchise » pour les données sur l'Internet



La Figure 6 illustre un échange théorique sur les segments de réseau numérotés « 1 » et « 2 ». Un fournisseur de contenus à forte notoriété et le FAI décident de s'échanger du trafic grâce à un point d'échange ou d'interconnexion d'égal à égal sur l'Internet. Avant de connecter physiquement les lignes au point d'échange, il faut qu'ils concluent un accord financier concernant la tarification des transmissions. Le fournisseur de contenus fournit des outils de recherche et d'autres services que les abonnés du FAI trouveront sans doute très intéressants. Le FAI est donc incité à établir une connexion rapide et peu coûteuse avec le fournisseur de contenus – dans la mesure où les sites de celui-ci sont appréciés de ses abonnés. Le fournisseur de contenus peut aussi avoir envie de cette interconnexion pour réduire ses temps de réponse aux abonnés du FAI et pour pouvoir servir plus efficacement ses annonces publicitaires et ses services.

En entamant leurs négociations, le fournisseur de contenus et le FAI étudient l'historique des flux et le potentiel de flux de trafic, avant de décider s'ils bénéficieront l'un et l'autre d'un accord d'interconnexion d'égal à égal ou si la situation justifie un transit payant. Dans ces négociations, il est possible que le FAI arrive à faire valoir que le fournisseur de contenus a davantage besoin d'un accès direct au FAI que celui-ci n'a besoin d'un accès direct au fournisseur de contenus. Si tel est le cas, le fournisseur de contenus devra

payer le transit pour obtenir une liaison directe avec les abonnés du FAI. Cependant, dans la situation inverse, lorsqu'un fournisseur de contenus à forte notoriété lance de nouveaux services, les abonnés peuvent exiger de leur FAI un meilleur accès à celui-ci. Cela fait du fournisseur de contenus un partenaire d'interconnexion plus attractif.

L'important est que, dans les discussions relatives au transit payant ou à l'échange de trafic, on considère déjà les différents flux de trafic entre les prestataires, même si les accords existants ne prévoient pas de différentiation sur la qualité du service. Des paiements sont décidés lorsque les ressources de l'un des deux réseaux sont considérées comme représentant davantage de valeur que celles de l'autre. Le sens des versements en vue d'une priorité de trafic dépendra, d'une part des niveaux de concurrence respectifs sur le marché des contenus et sur le marché des FAI, et d'autre part de l'intérêt que présente chacun des deux réseaux l'un pour l'autre. Il existe donc d'ores et déjà un mécanisme permettant aux fournisseurs de contenu et aux FAI de négocier le transfert de données entre les réseaux, et le fonctionnement de ce système est satisfaisant.

À qui appartiennent les lignes ?

La concurrence entre les plates-formes haut débit est très variable au sein des pays de l'OCDE. Sur certains marchés, la concurrence DSL/câble est très importante, tandis que sur d'autres, c'est simplement l'adaptation du réseau téléphonique au DSL qui suscite une concurrence similaire. Dans les pays où la concurrence se fait au niveau des plates-formes, les abonnés ont généralement dû se contenter de deux fournisseurs d'accès à très haut débit – voire d'un seul – même si de nouvelles plates-formes apparaissent. Cependant, le déploiement de réseaux municipaux ou régionaux en fibres optiques jusque chez l'abonné a permis de créer les liaisons qui faisaient défaut dans des zones mal desservies et de faire progresser la concurrence là où les choix, pour le haut débit, étaient relativement limités. Dans plusieurs pays de l'OCDE, ces réseaux sont en train de gagner du terrain. Aux États-unis, par exemple, on compte 936 groupements desservis par des réseaux FTTH dans 47 États, avec 671 000 liaisons actives et quatre millions de foyers raccordables[23]. Dans ce pays, de plus en plus de ces liaisons fibre sont assurées par des réseaux municipaux et communautaires. Dans les pays de l'OCDE, le nombre total d'abonnés à un réseau municipal en fibre optique est peut-être encore faible par rapport au total des abonnés au haut débit, mais le développement de la concurrence sur ces réseaux en accès libre suscite un intérêt croissant.

Même au sein d'un même pays, le niveau de la concurrence entre plates-formes peut varier considérablement entre zones rurales et urbaines. La concurrence sur la boucle locale revêt une importance particulière dans les marchés où il n'existe pas de concurrent implanté doté d'installations.

Les débats sur la hiérarchisation du trafic ont aussi stimulé la recherche de nouveaux modèles pour financer, construire et gérer des réseaux sur le dernier kilomètre. Les réseaux en accès ouvert, où la fourniture de l'infrastructure physique est séparée de celle des services, suscitent un intérêt croissant. Ils[24] peuvent être gérés sous forme de coopérative, par un fournisseur de services de réseau ou par une municipalité, ou par un partenariat public-privé. Leur principal avantage est de permettre à un grand nombre de concurrents d'offrir des services sur la même infrastructure physique. Ce regain d'intérêt pour les réseaux en accès ouvert s'explique par l'inefficience de la concurrence entre plates-formes sur le dernier kilomètre.

Le Conseil municipal d'Amsterdam a approuvé un projet de ce type, Citynet (http://www.citynet.nl), qui consistera à installer dans la ville un réseau en fibre optique jusqu'au domicile des utilisateurs, grâce à un partenariat entre le secteur public et le secteur privé. Ce réseau sera en « accès libre », ce qui signifie que tout opérateur concurrent sera autorisé à s'interconnecter et à y vendre ses services.

Dans certains pays de l'OCDE, des entreprises de services de réseau sont aussi entrées sur le marché des services haut débit, formant un niveau supplémentaire de concurrence. Ainsi, au Danemark, la compagnie d'électricité SEAS-NVE est en train d'installer un réseau en fibre optique à destination des usagers, qui devrait couvrir 50 % de ses abonnés au cours des dix prochaines années. Une société coopérative de service de réseau comme SEAS-NVE a pu profiter de son avantage comparatif dans la construction d'une infrastructure publique comme la grille de distribution d'électricité, et l'appliquer à la planification et au déploiement d'une infrastructure de réseau en fibre optique.

Les réseaux municipaux en accès libre pourraient jouer un rôle clé dans le débat sur la hiérarchisation du réseau, car ils constituent une plate-forme pour la concurrence au niveau des services, et seraient donc un moyen de contrer significativement les éventuels effets anti-concurrentiels d'une structure Internet à plusieurs vitesses. Une politique d'accès libre au réseau permet à divers prestataires de proposer des services de transmission de vidéo, de voix et de données sur le même marché et au sein de la même infrastructure physique. Une telle concurrence réduit le risque qu'un des fournisseurs d'accès puisse bloquer des services ou exiger un prix excessif pour attribuer la priorité au trafic des données, en même temps qu'elle permet de bénéficier des avantages de la QoS que peut offrir un système à plusieurs vitesses.

Autre possibilité prometteuse, l'ouverture de conduites existantes ou la construction par les pouvoirs publics de nouveaux systèmes de conduites ou de pylônes qui peuvent être utilisés par des entreprises désireuses de déployer ou d'étendre des réseaux. Ce concept est appelé infrastructure « passive » car il est neutre par rapport aux opérateurs : il consiste simplement à louer de l'espace où l'opérateur peut installer ses propres équipements physiques. On peut citer le CERIU à Montréal[25] (Canada) et en Espagne le projet public 22@Barcelona[26].

Dans les pays de l'OCDE, de plus en plus de grandes villes commencent à planifier et à déployer des réseaux WiFi fil municipaux utilisables par les consommateurs soit gratuitement, soit à bas prix. Ces réseaux sont aussi susceptibles de renforcer la concurrence sur le marché et de réduire le pouvoir de telle ou telle entreprise de pratiquer des tarifs excessifs pour le traitement prioritaire des données. Toutefois, ces réseaux municipaux WiFi et WiMAX ne peuvent pas offrir des vitesses d'accès comparables à celles des réseaux en fibre optique, et une concurrence au niveau de l'accès aux lignes serait plus difficile à envisager. Les abonnés aux réseaux WiFi ne pourront pas toujours accéder aux mêmes types de services que les utilisateurs de liaisons filaires dédiées. Par exemple, les consommateurs des Pays-Bas[27] peuvent bénéficier de télévision HD sur des réseaux en fibre mais beaucoup d'installations WiFi n'autorisent que des débits moyens de 1 Mbit/s[28], – soit environ le dixième du débit nécessaire pour un flux de HDTV. Par conséquent, la bande passante dont pourront disposer les usagers d'un réseau municipal WiFi et WiMAX sera sans doute considérablement moindre que celle permise par le déploiement des réseaux FTTH, et elle viendra compléter, plutôt que remplacer, le service Internet haut débit par liaisons filaires.

Les réseaux d'accès municipaux sont un sujet de débat qui remporte un vif intérêt dans plusieurs pays. Par exemple, la Commission Européenne a ouvert une enquête sous la loi régissant les subventions d'État du traité de l'UE pour le projet Citynet à Amsterdam. Durant ces deux dernières années, la Commission a publié une série de décisions de subventions d'État, concluant que l'aide était justifiée dans les régions rurales et isolées afin de promouvoir le haut-débit. Toutefois, la Commission a été plus que prudente lors de l'évaluation de projets financés par l'État dans des régions urbaines où les services du haut-débit sont déjà disponibles à des conditions de concurrence. Certains fournisseurs de services de télécommunication ont également exprimé leur inquiétude concernant les réseaux municipaux. Ils craignent que ceux-ci inhibent tout investissement existant ou futur de la part du secteur privé.

Le droit à la bande passante

Dans le débat sur la neutralité du réseau, il règne une certaine confusion en ce qui concerne la hiérarchisation du trafic et le type de liaison auquel les abonnés peuvent prétendre sur leurs lignes à haut débit. Les formules haut débit sont souvent vendues sans limitation des transferts de données, bien que la charte d'utilisation interdise souvent une utilisation excessive, qui ne saurait être tolérée longtemps. En mars 2006, par exemple, BT a envoyé des lettres à plus de 3 000 abonnés qui avaient téléchargé entre 100 et 200 gigaoctets de données par mois, pour leur notifier qu'ils devaient payer un supplément pour une utilisation aussi intensive, faute de quoi ils risquaient de voir leurs contrats résiliés[29].

Dans certains pays de l'OCDE, les opérateurs plafonnent en volume les liaisons haut débit. Ces plafonds sont souvent restrictifs et obligent les abonnés à payer des tarifs mensuels plus élevés s'ils veulent avoir droit à une utilisation illimitée. Dans certains pays comme l'Australie, les utilisateurs choisissent généralement leur formule d'abonnement mensuel haut débit en fonction du volume de trafic qu'elle autorise et non de la vitesse de connexion. Les abonnés qui prévoient une faible utilisation peuvent choisir une formule mensuelle moins chère moyennant l'acceptation d'un plafonnement plus sévère du volume de transfert. Ainsi, les abonnés au service Bigpond de Telstra paient 29.95 AUD pour 200 Mo de trafic par mois ou le double de ce tarif pour un trafic de données illimité[30].

En général, ces plafonds sont instaurés pour empêcher les gros consommateurs de bande passante d'accaparer une part trop grande des ressources globales du réseau. Certains analystes notent qu'un Internet à plusieurs vitesses pourrait être utilisé de façon similaire pour permettre d'en finir avec cette « tragédie de la ressource commune Internet », cette situation dans laquelle par leur utilisation excessive de bande passante un petit nombre d'applications peut ralentir tous les autres services. Ils émettent l'idée qu'en obligeant les utilisateurs ayant des besoins importants à financer une meilleure qualité du service, il serait possible de faire en sorte que concrètement leurs applications « paient » les coûts réels de la bande passante qu'elles utilisent.

D'un point de vue économique, les formules haut débit de type « illimité » sont conçues sur le principe que l'utilisateur moyen consommera une quantité moyenne de bande passante par mois. Or, certains usagers du haut débit consomment un volume de bande passante extrêmement élevé ; ils sont donc subventionnés par les autres usagers, pour lesquels le haut débit est surtout intéressant parce qu'il leur permet de télécharger plus rapidement leur courrier électronique. Ainsi, on peut dire que les usagers qui consomment peu de bande passante, en payant le même prix d'abonnement, subventionnent les gros consommateurs.

Les promoteurs d'un Internet à plusieurs vitesses font valoir qu'un système à niveaux différenciés permettrait aux opérateurs de pratiquer une tarification du service plus adaptée à l'utilisation réelle. Ceux qui consomment peu de bande passante pourraient se voir octroyer un traitement prioritaire pour leur courrier électronique en échange de la bande passante qu'ils n'auraient pas utilisée chaque mois. Les gros consommateurs de bande passante pourraient accepter de renoncer à toute priorité sur l'ensemble de leurs transmissions, en échange du droit d'utiliser la bande passante sans limitation de volume. Les formules d'abonnement seraient ainsi plus équitables pour tous les abonnés, sans ces plafonds qui ont tendance à décourager l'utilisation de l'Internet. Quant aux adversaires de la différenciation des niveaux de service, ils affirment qu'un tel système ne serait qu'un autre moyen de segmenter les marchés pour récupérer une partie du « surplus de consommateur ».

Il est certain que les consommateurs gagneraient à être mieux informés sur ce qu'ils achètent chaque mois en s'acquittant de leur facture haut débit. Ils ont besoin de savoir s'ils paient pour un accès Internet illimité, avec une vitesse de transmission déterminée, ou s'il existe déjà, en réalité, des plafonds d'utilisation non divulgués susceptibles d'entraîner, à un moment donné, la résiliation du service offert.

Une grande partie du débat sur la hiérarchisation du trafic pourrait être plus clair si les FAI expliquaient mieux aux internautes les limites de l'utilisation de leur liaison.

Les problèmes de protection de la vie privée

La mise en forme des paquets et le cryptage

Comme cela a été souligné dans la partie technique du document, les routeurs sont capables d'examiner le contenu des paquets qui transitent sur le réseau et de décider de quelle manière ces paquets vont être traités. Certaines des décisions de hiérarchisation seront prises par le routeur à partir de l'examen des paquets qui lui parviennent. On parle parfois de « surveillance » ou de « reniflage » des paquets, car le routeur scrute le contenu du paquet avant de lui affecter un niveau de priorité.

Les techniques de cryptage permettent aux utilisateurs de protéger le contenu de leurs paquets afin que celui-ci ne puisse pas être lu par les routeurs (ou par des ordinateurs situés sur le réseau) au cours de la transmission. Toutefois, les opérateurs de réseau ont toujours la possibilité de connaître l'information contenue dans l'en-tête IP, notamment les adresses IP de provenance et de destination et l'information relative au port, toute cette information pouvant être utilisée pour décider de bloquer les paquets ou, au contraire, de les rendre prioritaires.

De plus, avec les techniques actuelles de mise en forme des paquets, il n'est pas toujours nécessaire de devoir examiner l'intérieur du tunnel pour déterminer avec pertinence le type de trafic transmis. Ainsi par exemple, le système de mise en forme des paquets peut être capable de détecter sur une liaison un flux de paquets de taille à peu près égale dans les deux sens s'effectuant avec la régularité d'un métronome, et en déduire qu'il s'agit d'une communication vocale[31].

Des réseaux chiffrés et distribués comme Tor (The Onion Router), I2P ou Freenet peuvent permettre d'empêcher que des tiers, FAI ou autres, puissent déterminer le contenu *ou* la destination finale des paquets envoyés sur le réseau Internet. Les tunnels de cryptage ne chiffrent que le contenu (la « charge utile ») du paquet, mais l'information de l'en-tête, notamment l'information sur le port et l'adresse IP, est inscrite en clair et peut facilement être lue. Cela signifie que les techniques de reniflage des paquets permettront encore d'en apprendre beaucoup sur leur contenu, en regardant où ils vont et de quelle adresse IP ils proviennent.

Les FAI pourront aussi ralentir le trafic en provenance de certains domaines et n'auront pas besoin de pouvoir connaître le contenu des paquets pour pratiquer une discrimination envers certaines transmissions. Des routeurs de réseaux cryptés et distribués comme les routeurs Tor permettent de contourner ce problème en acheminant tous les paquets à travers une série d'ordinateurs pour masquer la destination finale du paquet. Sur le réseau Tor, les paquets de données suivent un chemin aléatoire passant par plusieurs serveurs, ce qui fait qu'aucun point du réseau ne sait d'où vient un paquet ni où il va[32]. Le routage Tor peut empêcher les FAI de bloquer l'accès à certains ports ou à certaines adresses IP. Précisons que Tor peut aussi être utilisé pour contourner certaines mesures de sécurité ou le blocage légitime de trafic, notamment celui des sites à contenu malveillant. Il peut aussi servir à masquer des activités illégales.

Informations personnelles identifiables

Les technologies de discrimination des paquets offrent aux opérateurs de réseaux la possibilité de lire l'information des en-têtes et le contenu des paquets avant de décider comment se fera leur acheminement. Les opérateurs ont depuis longtemps la possibilité d'analyser les données contenues dans les paquets en circulation sur leurs réseaux, mais le projet d'un Internet à plusieurs vitesses implique une augmentation importante du nombre de routeurs qui pratiqueront l'analyse active des paquets.

L'architecture initiale de l'Internet n'incitait pas particulièrement les opérateurs à installer sur leurs réseaux des systèmes de discrimination des paquets, puisque ces systèmes auraient réduit les volumes de trafic qu'un routeur était capable de traiter dans un laps de temps donné. Cependant, si le projet d'un Internet à plusieurs vitesses se matérialise pour de bon, alors les opérateurs seront poussés, pour des raisons économiques, à équiper les routeurs disposés sur l'ensemble des réseaux de systèmes capables d'une analyse des paquets plus approfondie.

Dès qu'une technologie implique le recueil de données, surtout de données relatives à des personnes identifiables, il peut être nécessaire de contrôler la façon dont les données seront rassemblées, stockées et utilisées. Or, avec l'architecture actuelle de l'Internet, les routeurs n'ont pas besoin d'examiner régulièrement le contenu des paquets qui traversent le réseau avant de les traiter. Mais si les paquets devaient être soumis à une mise en forme sur l'ensemble du réseau, il faudrait que les routeurs analysent le contenu des paquets associés aux adresses IP ; or, dans certains pays de l'OCDE, cette information risque d'être considérée comme de l'information personnelle concernant des personnes identifiables, ce qui pose alors un problème de protection de la vie privée.

Rien n'indique que les opérateurs de réseau projettent de recueillir ou de stocker au niveau des routeurs des informations personnelles concernant des personnes identifiables, mais il faudrait que les responsables politiques soient conscients du fait que la généralisation des technologies de mise en forme des paquets confère au moins aux opérateurs la possibilité de sélectionner les paquets en fonction de leur contenu et de l'adresse IP de l'utilisateur. Cette possibilité peut faire craindre qu'il soit facile de traiter les données à des fins n'ayant aucun rapport avec l'acheminement des transmissions. Dans le contexte d'un Internet structuré en deux niveaux, les problèmes de protection de la vie privée peuvent être complexes et mériter une attention particulière de la part des spécialistes de la protection de la vie privée.

CONSIDÉRATIONS D'ORDRE POLITIQUE

Cette section, consacrée aux considérations d'ordre politique, comporte trois parties. La première partie traite de l'importance de la concurrence dans le débat et présente une brève analyse du champ auquel devrait s'appliquer l'étude de la structure du marché. La partie suivante contient des suggestions pour l'action publique lorsque les responsables décident de laisser le jeu du marché guider les décisions en matière de hiérarchisation du trafic. Les suggestions contenues dans cette section ont uniquement pour but d'aider les marchés à fonctionner plus efficacement et d'améliorer la transparence pour les utilisateurs. Elles ne s'appliquent pas aux cas où les marchés sont jugés insuffisamment concurrentiels et peuvent nécessiter une intervention réglementaire. La dernière partie recense les questions auxquelles peuvent être confrontés les régulateurs dans les marchés peu concurrentiels.

Le niveau de concurrence

Il ressort de cette étude que c'est dans les marchés où la concurrence sur l'accès Internet à haut débit est réelle et dynamique, que les consommateurs devraient le plus bénéficier de l'instauration d'une qualité garantie de service, et qu'il pourrait y avoir le moins de risques de pratiques de mise en forme anti-concurrentielle du trafic de la part des FAI. Il faut savoir que les pratiques anti-concurrentielles peuvent exister dans toutes sortes de marchés, même ceux qui sont jugés concurrentiels. Mais le risque diminue généralement à mesure qu'augmente le nombre de concurrents effectifs.

Par conséquent, le niveau de la concurrence sur le marché du haut débit sera l'un des principaux facteurs qui détermineront la nécessité ou non des mesures de sauvegardes contre les pratiques anticoncurrentielles de hiérarchisation du trafic. La délimitation du marché et la détermination du niveau de concurrence ne sont pas aussi simples dans les marchés de l'accès Internet à haut débit que dans d'autres industries de réseau comme la fourniture d'électricité, d'eau et le transport ferroviaire. Les services de données peuvent être disponibles sur une multitude de plates-formes (accès commuté, DSL, câble, 3G) mais les débits sont si différents qu'il ne s'agit alors plus véritablement de services substituables. Par conséquent, les autorités de régulation ne sauraient se contenter de compter le nombre de FAI dans une région donnée pour conclure que le marché est suffisamment concurrentiel. Il leur faudra peut-être procéder à une analyse approfondie du marché pour déterminer si les ménages peuvent véritablement choisir entre des accès Internet à haut débit équivalents. Pour apprécier le niveau de concurrence sur le marché, il sera essentiel de déterminer quelles technologies d'accès Internet peuvent se substituer aux accès à haut débit actuels.

À titre d'exemple, les technologies 3G, parmi lesquelles la future norme High Speed Packet Access (HSPA), permettent un débit binaire maximal de 14.4 Mbit/s par utilisateur à l'intérieur d'une cellule. Cependant, d'après le Forum UMTS, la capacité de traitement type d'une de ces technologies, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), sera comprise entre 500 et 700 kbit/s avec un maximum de 40 utilisateurs par cellule[33]. À l'autre extrême, au Japon et en Corée du Sud, les opérateurs des réseaux FTTH proposent actuellement aux utilisateurs des connexions à 100 Mbit/s, tandis qu'à Hong-Kong, HKBN Limited propose maintenant des connexions à 1 Gbit/s (1 000 Mbit/s). Pour le 3G et le FTTH, il existera effectivement des recoupements sur le marché, mais ces technologies devraient s'avérer plus complémentaires que concurrentes.

Il sera peut-être souhaitable que les responsables politiques établissent une distinction claire entre les vitesses de connexion plus lentes permises par les réseaux sans fil et les vitesses plus élevées permises par le haut débit filaire. Cette distinction est vitale, car certains des services les plus exposés au risque de dégradation des paquets par suite de pratiques anti-concurrentielles sont ceux qui nécessitent une largeur de bande plus performante que celle que les technologies sans fil actuelles, et même futures, peuvent offrir. Ainsi, par exemple, avec la TVHD, la transmission d'une chaîne de télévision dans un foyer nécessitera aux alentours de 10 Mbit/s de bande passante, suivant le taux de compression. Or, la 3G et d'autres technologies mobiles sans fil comme WiMAX ne pourront pas fournir cette bande passante à chaque abonné. En conséquence, dans toute étude portant sur les opérateurs du marché de la télédiffusion en haute définition sur IP, il convient d'exclure les fournisseurs de transmissions 3G, Wi-Fi et WiMAX[34].

Une fois cerné le marché approprié, les responsables politiques peuvent déterminer s'il existe suffisamment de concurrence pour les consommateurs. Dans les pays de l'OCDE, un certain nombre de marchés se caractérisent effectivement par une concurrence saine pour l'Internet haut débit à grande vitesse, basée sur l'infrastructure, le dégroupement de la boucle locale ou les deux. La situation dans certains pays se caractérise le plus souvent par un accès concurrentiel à la boucle locale et une concurrence en termes d'infrastructure entre le câble, le DSL et parfois la fibre optique. Ainsi, des pays ayant les deux types de concurrence comme la Corée du Sud, les Pays-Bas, le Danemark et la Belgique, ont aussi probablement les marchés les plus concurrentiels pour contrebalancer toute incitation d'un FAI à pratiquer une mise en forme des paquets dans un but anti-concurrentiel.

Une concurrence pour les connexions sur le dernier kilomètre est une bonne protection contre les abus de pouvoir de marché de la part de fournisseurs d'accès Internet. Il existe cependant certains pays de l'OCDE où les consommateurs doivent se contenter d'un seul, ou éventuellement de deux opérateurs pour la fourniture des services Internet à haut débit. Lorsque c'est le cas, les fournisseurs d'accès Internet peuvent disposer d'un pouvoir de marché suffisant pour poursuivre des objectifs anti-concurrentiels.

Dans d'autres pays de l'OCDE, la concurrence est forte pour un type d'infrastructure, mais il manque un réseau haut débit parallèle étendu pour les consommateurs, qui serait en mesure de leur fournir de nos jours des services Internet à haut débit ou dans un futur proche. Dans une telle situation, il convient que les responsables politiques étudient le niveau de concurrence au niveau de la ligne individuelle, c'est-à-dire, en général sur la boucle locale et qu'ils jugent si la concurrence est assez forte pour que les régulateurs puissent adopter une approche « non interventionniste » des techniques de mise en forme du trafic sur le dernier kilomètre. Bien que le dégroupage ait été bénéfique pour la concurrence dans un certain nombre de pays de l'OCDE, il pourrait y avoir des cas où le dégroupement de la boucle locale est autorisé alors que le marché n'est pas encore jugé concurrentiel.

Au sein de l'OCDE, il reste un petit nombre de pays dans lesquels la concurrence sur le marché des connexions Internet à haut débit se limite à l'infrastructure. Dans ces pays, il faut que les responsables politiques se montrent particulièrement prudents lorsqu'ils mesurent les progrès du développement d'une infrastructure parallèle, qu'ils gardent à l'esprit que les technologies sans fil ne sont pas parfaitement substituables aux réseaux filaires et que, dans un avenir prévisible, une vaste majorité des abonnés n'auront toujours accès qu'à un ou deux fournisseurs capables d'offrir des vitesses de connexion supérieures à 10 Mbit/s. La théorie des jeux doit jouer un rôle clé dans le processus de décision, s'agissant de marchés en configuration de duopole.

Négociations entre fournisseurs de contenus et opérateurs des infrastructures

L'une des questions clés qui se posent dans les débats en cours sur la hiérarchisation du trafic est de savoir s'il convient de laisser aux FAI la possibilité de faire payer plus à certains fournisseurs de contenus en échange d'un meilleur niveau de priorité pour leurs paquets. Les FAI et les gros fournisseurs de

contenus ont parfois déjà ouvert des négociations de peering ou de transit contre paiement, auquel cas le traitement prioritaire de paquets ne serait qu'un prolongement de ces négociations, même si les négociations n'ont jusqu'alors porté que sur un traitement du trafic « au meilleur effort ». Le pouvoir de négociation relatif d'un FAI sera lié à différents facteurs comme son nombre d'abonnés, la composition de sa clientèle (particuliers, entreprises utilisatrices, fournisseurs de contenus) et la portée géographique de son réseau.

Au stade actuel où sont ces négociations, il serait prématuré que les pouvoirs publics interviennent au niveau de l'échange de trafic de réseau à réseau et exigent un traitement neutre des paquets pour les fournisseurs de contenus. Pour remédier aux inconvénients que cela pourrait représenter pour de petites start-ups, on pourrait envisager une mutualisation de la demande d'accès Internet via un FAI commun. De jeunes entreprises fournisseurs de contenus ne seront pas nécessairement en position optimale pour négocier, mais leur FAI peut l'être. Il n'est pas exclu que les gros FAI puissent s'entendre pour assurer leur peering réciproque avec des niveaux de priorité plus élevés.

Dès lors les pouvoirs publics peuvent préserver la concurrence au niveau de la boucle locale, la réglementation au niveau des dorsales du réseau ne sera probablement plus aussi nécessaire. La solution n'est pas encore claire et pour l'instant, sans doute est-il préférable que les responsables des politiques s'attachent à préserver la concurrence sur l'accès du dernier kilomètre.

La protection du consommateur assurée par le marché dans un Internet à plusieurs vitesses

Le moyen le plus efficace d'empêcher que la hiérarchisation du trafic ne provoque une distorsion de la concurrence est de veiller à ce que les marchés du haut débit demeurent ou deviennent concurrentiels. Plusieurs instruments sont à la disposition des responsables politiques pour stimuler encore la concurrence sur les marchés où le jeu de la concurrence est jugé suffisant pour protéger les consommateurs contre les pratiques anticoncurrentielles de hiérarchisation des paquets.

Comme la concurrence permet de protéger les consommateurs contre la mise en forme abusive du trafic, les autorités publiques peuvent envisager des mesures complémentaires pour réduire les barrières à l'entrée sur les marchés du haut débit. À cet égard, beaucoup de pays de l'OCDE sont très satisfaits du dégroupage de la boucle locale, car il permet aux nouveaux arrivants d'opérer des réseaux qui sont gérés autrement que ceux de l'opérateur historique, et offre une dissuasion supplémentaire pour les fournisseurs d'accès qui seraient tentés de pratiquer une mise en forme anti-concurrentielle des paquets. Il contribue aussi à assurer qu'un consommateur puisse quitter un FAI qui hiérarchise le trafic en limitant l'accès aux contenus et aux services qui l'intéressent.

Les autorités gouvernementales devraient aussi promouvoir la concurrence sur les infrastructures, et peuvent pour cela recourir à plusieurs stratégies. D'abord, elles peuvent réduire les barrières à l'entrée en facilitant l'octroi des droits de passage (servitude) aux nouveaux arrivants sur le marché. De nouveaux prestataires devraient être autorisés à s'entendre avec les détenteurs de droits de passage, par exemple les compagnies de distribution d'eau et d'électricité, pour raccorder les particuliers aux réseaux. Les autorités, particulièrement au niveau local, peuvent aussi chercher des moyens innovants pour faciliter le déploiement de nouvelles infrastructures en facilitant l'accès aux conduits et aux pylônes existants. La libération de nouvelles fréquences pour les réseaux sans fil peut certes accroître la concurrence pour certains services, mais pas pour ceux qui nécessitent une bande passante très importante.

Il y a d'autres paramètres que le nombre de fournisseurs d'accès haut débit de substitution sur un marché. Si les consommateurs sont confrontés à des coûts de sortie élevés, ils seront réticents à payer pour pouvoir quitter un fournisseur d'accès pour un autre. Cette forme de « fidélisation forcée » des consommateurs laisse aux opérateurs davantage de latitude pour donner abusivement la priorité à leurs

propres services par rapport à ceux de leurs concurrents. Les autorités de régulation peuvent envisager d'imposer des règles pour protéger les consommateurs et leur permettre de changer de fournisseur d'accès facilement et rapidement, gratuitement (ou pour un coût modique) et sans interruption du service, lorsqu'un changement de politique de routage de la part de leur opérateur entraîne la dégradation ou le blocage de services qui n'étaient pas affectés au moment où ils se sont abonnés.

Lorsque les coûts de sortie sont élevés pour les consommateurs, c'est souvent parce qu'ils sont élevés pour les prestataires. Les opérateurs pourraient fournir des installations et des modems avec de fortes remises en échange d'une durée de contrat spécifiée. Toute modification de réglementation autorisant les consommateurs à mettre prématurément un terme à leur contrat à cause de changements de services pourrait pousser les FAI à réévaluer leurs plans marketing et commercial en fonction des installations de services. Les opérateurs concurrents pourraient avoir des coûts supplémentaires pour connecter un consommateur car ils sont souvent obligés de payer initialement des droits importants à l'opérateur historique pour obtenir ou pour rendre une ligne dégroupée. Ils répugnent à répercuter ces coûts dans les frais d'installation (car cela n'engage pas à s'abonner) et préfèrent nettement les comptabiliser comme des frais de déconnexion (pour décourager plutôt les abonnés de résilier leurs contrats). Ces coûts risquent d'avoir un effet négatif sur la capacité des utilisateurs à changer d'opérateur, et ils peuvent entraîner des coûts d'arbitrage si élevés que les opérateurs se sentent libres d'appliquer une mise en forme illégitime des paquets. Par conséquent, toute réduction des frais que les abonnés devront assumer pour changer d'opérateur haut débit renforcera la concurrence entre les prestataires.

Un des autres garde-fous que les responsables politiques pourraient envisager est d'inciter les FAI à préciser clairement aux consommateurs, avant de leur faire signer leur abonnement, quelle est leur politique en matière de mise en forme des paquets en haut débit, et de faire en sorte que les consommateurs déjà abonnés soient tenus informés de tout changement éventuel dans ce domaine. On pourrait envisager une réglementation obligeant les FAI à donner des estimations réalistes de leurs vitesses de connexion à haut débit ainsi que la part de la largeur de bande réservée aux services au meilleur effort. Ceux-ci pourraient être similaires aux informations d'essais de ligne déjà fournies par certains fournisseurs de DSL lorsque des abonnés potentiels souhaitent vérifier la disponibilité du service. Dans les publicités pour les services haut débit, on pourrait rendre obligatoires des mentions similaires à celles présentées à la Figure 7. La part « réservée par le FAI » reflète une politique de hiérarchisation consistant pour ce dernier à attribuer de la bande passante à ses propres services assurés sur la liaison des données sans la libérer de façon automatique lorsque l'abonné ne les utilise pas. Les FAI pourraient avoir l'obligation de publier une liste des applications faisant l'objet d'une mise en forme des paquets, de restrictions, ou d'une politique de routage défavorable.

Figure 7. Exemple d'information que les FAI pourraient être obligés de fournir aux consommateurs

Bande passante

Totale	Réelle
20.0 Mbit/s ↓	12.0 Mbit/s ↓
	Réservé par le FAI
2.0 Mbit/s ↑	0.8 Mbit/s ↑

Applications/Services

Application	État
Navigation Web	Libre
Vidéo	Restreint
Audio	Restreint
Poste à poste	Restreint
Jeux	Libre
RPV	Libre

Certains FAI ont pris les devant et présentent clairement aux internautes leurs règles de mise en forme du trafic. Cette démarche pourra au départ rebuter certains consommateurs, mais à terme, la transparence s'avère préférable pour les consommateurs comme pour le marché dans son ensemble. Par exemple le FAI australien Exetel a annoncé qu'il avait commencé de « dé-hiérarchiser » (c'est-à-dire rétrograder ses

paquets dans la file d'attente) le trafic P2P entre midi et minuit.[35] On peut citer aussi le cas du FAI PlusNet au Royaume-Uni, qui publie sur son site web les priorités affectées aux différentes catégories de trafic (voir tableau 3).

Tableau 3. Mise en forme du trafic en toute transparence : PlusNet (Royaume-Uni)

Priority category	Services, protocols affected	Level of priority
Gold	HTTP/HTTPS, SMTP, IMAP, POP3, PlusTalk	Priority Traffic
Silver	Gaming, VPN, network services, other VoIP services, FTP, SSH, Instant Messaging, IRC, other TCP/UDP/other traffic, P2P/Usenet for PAYG/Lite accounts. 15GB of Usenet traffic*. Text only news from PN's server and external text usenet servers.	No slow downs except in emergency, such as a pipe failure.
Bronze	P2P for all accounts bar PAYG/Lite, BB+ usenet, Usenet traffic over 15GB offpeak hours	
256 kbit/s	Usenet traffic over the 15GB limit during daytime and peak time hours.	8 AM and Midnight

Source : http://usergroup.plus.net/shaping.php, 10 janvier 2006.

Une meilleure transparence, comme le souligne le FAI australien, peut aussi conduire à une utilisation plus efficiente des ressources de réseau. Les utilisateurs qui comprennent ce que cela signifie seront incités à reporter leurs téléchargements P2P légitimes aux heures creuses sur le réseau pour obtenir des débits plus élevés. Le principe s'apparente aux systèmes de tarification heures creuses / heures pleines des réseaux d'électricité, dans lesquels les utilisateurs programment les appareils les plus consommateurs d'électricité comme les chauffe-eau et les lave-vaisselle pendant la nuit, afin de profiter de tarifs plus bas.

Pour accroître la transparence, les autorités de régulation pourraient inciter ou contraindre les FAI à annoncer publiquement leurs pratiques de mise en forme du trafic, puis contribuer à diffuser cette information. S'il n'existe pas de sites destinés aux consommateurs pour présenter ces informations, le régulateur pourrait créer un site consacré au haut débit et sur lequel les opérateurs auraient l'obligation de tenir à jour des listes détaillées des applications ou des services faisant l'objet de blocage, de mise en forme, ou bénéficiant d'une priorité. Les FAI pourraient être contraints de fournir aux autorités de régulation une information à jour en cas de changements significatifs dans leur politique de routage. Si de nouvelles informations sont demandées, ces exigences devront être extrêmement simples afin de ne pas accroître indûment la charge administrative des opérateurs ou des autorités de régulation.

Certaines autorités de régulation ont déjà mis en place des sites web, sur lesquels on pourrait ajouter des informations sur la hiérarchisation du trafic. ComReg, le régulateur de l'Irlande, a créé un site web interactif dans lequel les consommateurs peuvent comparer le coût des abonnements téléphoniques mobiles et résidentiels, personnels / non professionnels ainsi que les abonnements au haut débit (http://callcosts.ie). En Suède, l'Agence nationale des postes et télécommunications travaille activement à la production d'une information comparative sur la qualité à l'intention des consommateurs[36]. Dans d'autres cas, c'est le mécanisme du marché qui pousse des entreprises du secteur privé à créer ce genre de produits. Le groupe de recherche français Ariase a produit un tableau qui présente les coûts de terminaison d'appels VoIP chez tous les opérateurs de télécommunications en France[37].

Les responsables politiques pourraient aussi être amenés à réexaminer les lois de la concurrence existantes, afin qu'elles puissent toujours répondre aux pratiques abusives susceptibles d'apparaître dans le contexte d'un Internet à plusieurs vitesses. Les autorités de régulation de la concurrence auront besoin d'une réglementation robuste et efficace des pratiques anti-concurrentielles, qui soit adaptée aux complexités du trafic sur réseau. Il importe aussi que les consommateurs disposent d'un moyen simple de

recours lorsqu'ils suspectent un comportement anti-concurrentiel, et qu'il existe un système d'enquêtes sur ces allégations. Le droit de la concurrence sera probablement l'un des principaux instruments des pouvoirs publics pour contrer les pratiques anti-concurrentielles de mise en forme du trafic si elles apparaissent.

La protection des consommateurs et information

Des règles de protection du consommateur et une meilleure information devraient permettre de résoudre un bon nombre des problèmes que risque de poser un Internet à plusieurs vitesses. En cas de mise en forme du trafic à leur détriment, les consommateurs seront bien mieux protégés sur les marchés où ils peuvent faire des choix éclairés entre des fournisseurs de haut débit en concurrence, et s'ils sont libres de changer de fournisseur rapidement et sans trop de frais.

Tableau 4. Délai de saturation du trafic à haut débit – Octobre 2006

Combien de temps les internautes peuvent-ils télécharger au débit maximal annoncé par le FAI avant d'atteindre le plafond de téléchargement

	Down (Mbit/s)	Bit cap (Megabytes)	Minutes to reach bit cap	Implied contention ratio (x:1)
Optus (Australia)	9 900	100	1	32 522
Optus (Australia)	9 900	300	4	10 841
Woosh (New Zealand)	1 600	200	17	2 628
Optus (Australia)	9 900	2 000	27	1 626
BT (United Kingdom)	8 000	2 000	33	1 314
Woosh (New Zealand)	1 600	500	42	1 051
Bigpond (Australia)	1 500	500	44	986
Tele2 (Belgium)	512	250	65	673
Telecom (New Zealand)	2 000	1 000	67	657
Slovak Telecom (Slovak Republic)	1 024	600	78	561
Vodafone (Iceland)	6 000	4 000	89	493
Optus (Australia)	9 900	7 000	94	465
BT (United Kingdom)	8 000	6 000	100	438
Bigpond (Australia)	256	200	104	420
Telecom (New Zealand)	256	200	104	420
Bigpond (Australia)	512	400	104	420
Belgacom (Belgium)	512	400	104	420
AON (Austria)	1 024	800	104	420
Internode (Australia)	24 000	20 000	111	394

Il faut que les consommateurs sachent ce qu'ils achètent exactement lorsqu'ils s'abonnent pour une connexion haut débit. Or, sur les marchés de l'Internet, l'apparition des technologies de mise en forme du trafic sur les réseaux à haut débit entraîne un déficit d'information fâcheux, auquel il convient de remédier. Cette information est pourtant importante car on peut constater que les consommateurs ne choisissent souvent pas la formule qui leur convient le mieux lorsqu'ils s'abonnent au haut débit. En octobre 2006, l'OCDE a compilé les tarifs et les modalités de 373 offres d'accès Internet dans les 30 pays de l'OCDE. Un certain nombre d'offres se distinguent par la rapidité avec laquelle l'internaute atteint son plafond de téléchargement s'il utilise la connexion au niveau annoncé. Le tableau 4 montre, pour un échantillon de fournisseurs, le nombre de minutes de téléchargement autorisées au débit annoncé avant d'atteindre le plafond mensuel de téléchargement. Dans ce cas, les abonnés ont intérêt à préférer les formules moins chères (proposant un débit plus lent) ou offrant un plafond de téléchargement plus élevé. Ce type d'incompatibilité entre le débit et le plafond de téléchargement est un exemple du déficit d'information qui frappe de nombreux consommateurs face aux différentes offres des FAI.

Comme le montre le tableau 4, beaucoup de consommateurs ne comprennent pas les limites de leur abonnement haut débit, même lorsque le débit et le plafond de téléchargement sont annoncés dans l'offre initiale. Le manque d'information est probablement plus grave pour les règles de mise en forme du trafic car les fournisseurs haut débit – surtout ceux qui pratiquent déjà la mise en forme du trafic – ne révèlent pas officiellement quels types de trafics ils bloquent ni quelle quantité de bande passante est affectée à des

applications spécifiques, pas plus qu'ils n'indiquent si leurs règles de routage sont basées sur le principe du meilleur effort, la discrimination en cas de besoin ou la hiérarchisation active. On suppose qu'un grand nombre de FAI mettent en forme certains trafics comme BitTorrent[38] mais très rares sont les FAI qui le déclarent ouvertement.

Il conviendrait que les autorités de régulation envisagent d'inciter ou d'obliger les FAI à mieux faire connaître les types de mise en forme du trafic qu'ils sont susceptibles de pratiquer. Il serait souhaitable aussi que les FAI informent les consommateurs lorsque certains services sont bloqués ou dégradés au point que leurs performances risquent d'en souffrir. Une telle information doit être rendue publique et aisément accessible par les consommateurs avant qu'ils ne souscrivent des contrats avec les FAI. L'obligation de fournir aux consommateurs une information adéquate et exacte concernant les transactions commerciales est un élément essentiel de la réglementation et de la politique de protection des consommateurs des pays de l'OCDE. Les Lignes directrices de l'OCDE régissant la protection des consommateurs dans le contexte du commerce électronique couvrent les contrats d'abonnement en ligne et comportent des dispositions pour assurer la transparence relative aux conditions et aux services des transactions entre entreprises et consommateurs. Il pourrait être nécessaire d'envisager également de nouvelles protections pour les consommateurs, afin que ces derniers aient la possibilité de résilier leur contrat sans frais lorsque survient un changement après la souscription de l'abonnement (mise en forme du trafic ou blocage de certaines transmissions).

Certaines autorités de régulation prennent déjà des mesures dans le sens de la divulgation aux consommateurs d'une information satisfaisante sur les services auxquels ils s'abonnent, et de la possibilité pour les abonnés de changer facilement de prestataire. Ainsi en avril 2006, l'OFCOM, autorité de régulation au Royaume-Uni, a annoncé le lancement d'une étude sur les procédures d'abonnement et de changement de fournisseur de haut débit[39].

L'intervention des pouvoirs publics pour protéger les consommateurs

La qualité du service impliquera une forme ou une autre de hiérarchisation des paquets sur les réseaux, même dans un environnement réglementaire qui impose des restrictions à la hiérarchisation du trafic. Dans un premier temps, les responsables politiques pourront envisager de proposer un ensemble de lignes directrices établissant un certain nombre de principes fondamentaux que devront suivre les opérateurs de réseau dans la mise en œuvre de la hiérarchisation des données (voir encadré 2).

Encadré 2. Déclaration de politique de la FCC (United States Federal Communications Commission)

Aux États-Unis, la FCC a publié une déclaration de politique en septembre 2005 concernant l'Internet et le haut débit. Elle se compose de quatre points qui ont pour objet de « faire en sorte que les réseaux haut débit soient largement déployés, ouverts, abordables et accessibles à tous les consommateurs ». La Commission a adopté les quatre principes suivants :

- *Pour encourager le déploiement du haut débit ainsi que pour promouvoir le caractère ouvert et interconnecté de l'Internet public,* les consommateurs ont le droit d'accéder aux contenus Internet de leur choix à condition qu'il soit légal.
- *Pour encourager le déploiement du haut débit ainsi que pour promouvoir le caractère ouvert et interconnecté de l'Internet public*, les consommateurs ont le droit d'utiliser les applications et les services de leur choix, sous réserve de leur légalité.
- *Pour encourager le déploiement du haut débit ainsi que pour promouvoir le caractère ouvert et interconnecté de l'Internet public*, les consommateurs ont le droit de raccorder les appareils de leur choix à condition qu'ils soient conformes à la législation et ne portent pas atteinte au réseau.
- *Pour encourager le déploiement du haut débit ainsi que pour promouvoir le caractère ouvert et interconnecté de l'Internet public*, les consommateurs ont le droit à la concurrence entre opérateurs de réseaux, d'applications, de services et de contenus.

La déclaration de politique de la FCC ne lie pas les participants au marché, à l'exception de Verizon et d'AT&T, car l'adhésion aux principes pour les deux ans à venir était une condition à l'approbation par la FCC des récentes fusions des deux groupes. Toutefois, la FCC note que les principes seront incorporés dans ses décisions de politique. Cela suppose qu'il n'est pas exclu que la Commission créée des instruments de politiques reposant sur ces principes en cas de dysfonctionnements ou de perturbation du marché.

Source : http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-05-151A1.pdf.

Des lignes directrices, à l'image de celles édictées par la FCC, pourraient constituer une base d'action pour toute mesure *a posteriori* qui pourrait être rendue nécessaire en cas de problèmes que les seuls mécanismes du marché ne suffiraient pas à résoudre. Les responsables des politiques pourraient toujours autoriser à la fois une hiérarchisation « en cas de besoin » et une hiérarchisation active, à condition que les consommateurs puissent choisir en connaissance de cause la manière dont la hiérarchisation est appliquée sur leur ligne. En ce sens, il y aurait une forme de « neutralité » du réseau puisque les consommateurs pourraient décider quels services bénéficieraient des différents niveaux de priorité.

Dans d'autres cas, des instruments de réglementation existants pourraient être appliqués à des entreprises dominantes. Par exemple, le cadre réglementaire de l'Union Européenne exige des opérateurs dominants qu'ils offrent un accès à leurs concurrents comme une manière de promouvoir la concurrence. La Commission européenne a aussi récemment souligné le rôle des autorités nationales de réglementation dans la protection des consommateurs contre certains types de hiérarchisation indésirable du trafic. Dans le cadre de son réexamen du cadre réglementaire de l'UE pour les réseaux et services de communications électroniques, un document de travail d'équipe de la Commission note :

> En général, si le marché est concurrentiel, cela signifie que si un fournisseur cherche à limiter les droits des utilisateurs, un autre fournisseur peut entrer sur le marché en proposant une offre plus « ouverte ». En Europe, le cadre réglementaire permet aux opérateurs d'offrir des services différents en fonction des groupes de consommateurs, mais ne permet pas à ceux qui bénéficient d'une position dominante de pratiquer une *discrimination* entre ses clients dans des circonstances similaires. Toutefois, le risque existe que dans certaines situations la qualité du service se dégrade et atteigne des niveaux inacceptables. Il est donc proposé de donner aux autorités nationales de régulation (NRA) le pouvoir de fixer des seuils minimum de qualité pour les services de transmission sur le réseau dans un environnement NGN basé sur des standards techniques définis au niveau de l'UE.

> Les dispositions existantes permettant aux NRA d'imposer des obligations aux opérateurs jouissant d'une puissance de marché significative, et leur conférant le pouvoir d'intervenir sur les questions d'accès et d'interconnexion, pourraient être utilisées pour empêcher tout blocage de services de TIC ou toute dégradation de la qualité de transmission de services de communications électroniques assurés par des tiers, et d'imposer des obligations d'interopérabilité le cas échéant.[40]

Si les mécanismes du marché et les garanties existantes n'offrent pas suffisamment de protections aux consommateurs, alors il pourrait être souhaitable que les régulateurs adoptent une série de règles concernant la hiérarchisation du trafic. Les FAI pourraient aussi envisager de mettre en œuvre les principes de manière volontaire et spontanée afin de rendre superflue une intervention gouvernementale.

Dans ce document, nous considérons uniquement les cas où on laisse les mécanismes du marché guider le développement de la hiérarchisation du trafic. Il existe toutefois plusieurs questions stratégiques importantes auxquelles les régulateurs seraient confrontés s'ils jugeaient qu'un marché n'est pas suffisamment concurrentiel pour que les consommateurs soient protégés contre les pratiques anti-concurrentielles de mise en forme du trafic et qu'une intervention réglementaire est nécessaire.

i. Quels éléments du réseau d'un fournisseur peuvent être soumis à une intervention réglementaire ? Des restrictions sur la mise en forme du trafic sur le dernier kilomètre d'une liaison seraient-elles suffisantes, ou devraient-elles s'appliquer plus en amont du réseau de l'opérateur (par exemple sur le « kilomètre intermédiaire » ou sur le segment de raccordement « backhaul » entre des points de présence et les points de raccordement Internet ?).

ii. Serait-il possible d'autoriser la hiérarchisation du trafic sur le réseau mais de donner aux consommateurs un important contrôle sur les applications prioritaires sur le dernier kilomètre de leur liaison ?

iii. Quel serait le traitement de la mise en forme du trafic liée à la sécurité et au fonctionnement de base du réseau ? Par exemple, les FAI seraient-ils autorisés à bloquer les ports habituellement utilisés pour le SMTP afin d'empêcher l'expédition de spam par des ordinateurs infectés par des bots ?

iv. Quel serait le traitement des services vidéo des opérateurs ? Un opérateur de télécommunications qui utilise des lasers différents pour les transmissions vidéo sur liaison fibre devrait-il être soumis aux mêmes restrictions de hiérarchisation du trafic qu'un opérateur fournissant de la télévision IP en « streaming » sur une connexion données standard ? Si la vidéo est transmise en « streaming » par l'opérateur sur la liaison données de base, les consommateurs devraient-ils pouvoir récupérer cette bande passante pour en faire l'usage qu'ils souhaitent en refusant le service télévision ou en éteignant la « box » ?

v. Serait-il efficace, pour atténuer les risques de pratiques anti-concurrentielles, de contraindre les opérateurs de proposer aux consommateurs une liaison sans mise en forme du trafic, ou bien la mise en forme du trafic sur le « kilomètre intermédiaire » continuerait-elle de poser problème ?

La neutralité du réseau mobile

Dans ce document, nous avons examiné les débats concernant la hiérarchisation du trafic sur les réseaux filaires, mais on verra bientôt une grande partie de ces problèmes se poser sur les réseaux mobiles. En fait, la hiérarchisation du trafic se pratique considérablement plus sur les réseaux mobiles que sur les réseaux fixes, notamment du fait des contraintes rigides d'utilisation des fréquences. Beaucoup de réseaux données mobiles bloquent déjà les applications très consommatrices de bande passante, comme l'échange de fichiers en *peer-to-peer*. D'autres bloquent aussi les transmissions de VoIP et les données en « streaming ».

Une grande partie des problèmes de protection et d'information des consommateurs que nous avons mis en évidence pour les réseaux fixes devraient également se retrouver pour les réseaux mobiles. Plus s'accroît le nombre d'abonnés aux services données 3G, plus ces abonnés ont besoin de savoir clairement ce qu'ils peuvent et ce qu'ils ne peuvent pas faire sur leur liaison.[41] Ce document a aussi mis en évidence le fait qu'il faudrait envisager le haut débit sur réseaux mobiles et sur réseaux fixes comme deux marchés différents. Les responsables politiques ne devraient donc pas considérer que les décisions en matière de hiérarchisation du trafic doivent automatiquement s'appliquer aux réseaux mobiles. Tout cet aspect mériterait d'ailleurs des recherches plus approfondies à l'avenir.

GLOSSAIRE

Acronyme	Signification
3G	Réseau mobile de troisième génération
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADSL2+	Asymmetric Digital Subscriber Line 2 plus
AH	Authentication Header (en-tête d'authentification)
AS	Autonomous System (système autonome)
DSL	Digital Subscriber Line (LNA, ligne numérique d'abonné)
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
ESP	Encrypted Security Payload
FAI	Fournisseur d'accès Internet
FCC	Federal Communications Commission
FIFO	First In, First Out (premier entré, premier sorti)
FTTH	Fiber To The Home (Câblage en fibre optique jusqu'au foyer)
Gbit/s	Gigabit par seconde
Go	Gigaoctet (environ 1 000 mégaoctets)
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)
HSPA	High Speed Packet Access
IP	Internet Protocol (protocole Internet)
IPSEC	Internet Protocol Security
IPTV	Internet Protocol Television
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
JPEG	Joint Photographic Experts Group
kbit/s	Kilobit par seconde
Ko	Kilooctet (environ 1 000 octets)
LAN	Local Area Network (réseau local)
MAC	Media Access Control
Mbit/s	Mégabit par seconde
Mo	Mégaoctet (environ 1 000 kilooctets)
ONI	Open Network Initiative
P2P	Peer to Peer (poste-à-poste)
QdS	Qualité du service
RPV	Réseau privé virtuel
RSS	Really Simple Syndication
TCP	Transmission Control Protocol
Tor	The Onion Router
TVHD	Télévision haute définition
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VoIP	Voice over Internet Protocol (protocole de téléphonie sur Internet)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

NOTES

1 JH Saltzer, DP Reed et DD Clark, "End-to-end arguments in system design", à l'adresse : http://web.mit.edu/Saltzer/www/publications/endtoend/endtoend.pdf.

2 Bell, Gregory, "Failure to thrive: QoS and the culture of operational networking", Actes de l'atelier ACM SIGCOMM intitulé "Revisiting IP WoS: What have we learned, why do we care?", Karlsruhe, Allemagne, 2003.

3 Cisco data sheet, Cisco SCE 2000 Series Service Control Engine http://www.cisco.com/en/US/products/ps6151/products_data_sheet0900aecd801d8574.html.

4 Manuel d'utilisation du Cisco Service Control Application for Broadband, Rel 3.0.5 (HTML) à : http://www.cisco.com/en/US/products/ps6135/products_user_guide09186a008078a9fd.html.

5 St. Sauver, Joe, « Basics of traffic shaping », à l'adresse : http://cc.uoregon.edu/cnews/winter2002/traffic.html.

6 Felten, Edward et J. Alex Halderman, Freedom to Tinker Blog, articles : "Nuts and Bolts of Network Discrimination – Thursday, March 2nd, 2006", "Nuts and Bolts of Net Discrimination, Part 2 – Tuesday, March 7th, 2006", "Discrimination, Congestion, and Cooperation – Monday, March 13th, 2006", à l'adresse : http://www.freedomtotinker.com.

7 Voir "Multiple Play : Pricing and Policy Trends", OCDE, DSTI/ICCP/TISP(2005)12/FINAL à http://www.oecd.org/dataoecd/47/32/36546318.pdf.

8 Charte d'utilisation des services de Comcast (acceptable use policy) au mois de février 2005, accent ajouté, à l'adresse : http://www.comcast.net/terms/use.jsp.

9 "Jitter", article sur Wikipedia, 30 mars 2006, à l'adresse : http://en.wikipedia.org/wiki/Jitter.

10 "Review: Voice over Wireless LAN", Network World, 10 janvier 2005, à l'adresse : http://www.networkworld.com/reviews/2005/011005rev.html?page=1.

11 Pour une explication détaillée de ce phénomène, voir "Nuts and Bolts of Net Discrimination : Encryption", Felten, Ed et J. Alex Halderman, Freedom to Tinker Blog, 21 mars 2006 à l'adresse : http://www.freedom-to-tinker.com/?p=995.

12 Van Schewick, Barbara, "Towards an Economic Framework for Network Neutrality Regulation", article présenté à la 33rd Research Conference on Communication, Information and Internet policy, 23-25 septembre 2005, Arlington, VA.

13 USIIA White Paper: Network Neutrality and Tiered Broadband, US Internet Industry Association (USIIA), 06 février 2006, à l'adresse : http://www.usiia.org/nlcurrent/alert0601.txt.

[14] Yoo, Christopher S., "Promoting Broadband Through Network Diversity", 04 February 2006 at: http://policycouncil.nationaljournal.com/NR/rdonlyres/B745CF87-C00E-4BE6-8D96-57DD91F1EA39/34908/Yoo2020Network20Diversity202606.pdf.

[15] Marilyn Geewax, "Battle Emerges On Future Of Net", The Atlanta Journal-Constitution, 27 janvier 2005.

[16] « Les implications du WiMAX pour la concurrence et la réglementation », OCDE, DSTI/ICCP/TISP(2005)4/FINAL, à l'adresse : http://www.oecd.org/dataoecd/32/7/36218739.pdf (version anglaise).

[17] "Cable TV Operators Black HanaTV", The Korea Times, 22 octobre 2006 à http://times.hankooki.com/lpage/biz/200610/kt2006102219434911890.htm.

[18] "하나TV서비스 호차단 관련 이용자이익저해행위 등 제136차 통신위원회 회의 결과", Commission des communications de Corée, 18 décembre 2006, à (en coréen): http://www.kcc.go.kr/main3_1_2.php?kcc_idx=177&rank=1". Voir aussi le communiqué de presse de Hanaro en anglais à : http://www.hanaro.com/eng/pr/press_info_view.asp?keynum=89.

[19] "Keep network neutrality", The Minnesota Daily, 31 janvier 2005, à l'adresse : http://www.mndaily.com/articles/2006/01/31/66882.

[20] "Internet Filtering in China in 2004-2005: A Country Study", OpenNet Inititative, à l'adresse : http://www.opennetinitiative.net/studies/china/.

[21] "At SBC, It's All About "Scale and Scope", BusinessWeek, 07 novembre 2005, à l'adresse : http://www.businessweek.com/@@n34h*IUQu7KtOwgA/magazine/content/05_45/b3958092.htm.

[22] « Échange de trafic Internet : évolution et mesure du marché », DSTI/ICCP/TISP(2005)11.

[23] "U.S. Optical Fiber Communities' List", TIA and FTTH Council Press Release, 26 avril 2006, à l'adresse : http://www.tiaonline.org/business/media/press_releases/2006/JointPR06-03.cfm.

[24] Roberto Battiti, Renato Lo Cigno, Frederik Orava, Bjorn Pehrson, Likalai Sabel, "Wireless LANs : from WarChalking to Open Access Networks", Mobile Networks and Applications, 1er janvier 2005, pages 275-287, vol. 10.

[25] Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), Infrastructures, Vol 8, n° 7, septembre 2001 à http://www.ceriu.qc.ca/shared/utils/download.asp?folder=download&subfolder=public/bulletinelectronique&file=septembre2001.pdf.

26 22@ Projet Barcelona, "Présentation du projet Barcelona 22@, septembre 2005 à : http://www.bcn.es/22@bcn/pdf/22@_state_execution.pdf.

[27] Les formules HDTV de Lijbrandt Télécom sont présentées à l'adresse : http://www.kadaka.nl/hillegom_tarieven.php.

[28] "Detailed analysis of EarthLink-San Francisco contract" MuniWireless, 6 janvier 2007 à l'adresse : http://muniwireless.com/municipal/1576.

[29] "BT goes after broadband gluttons", BBC, 24 mars 2006, à l'adresse : http://news.bbc.co.uk/1/hi/technology/4841132.stm.

[30] La tarification ADSL a été obtenue le 21 février 2006 à l'adresse : http://www.bigpond.com/internet-plans/broadband/adsl/default.asp. La formule illimitée autorise le téléchargement de 10 Go à 256 kbit/s. Au-delà de 10 Go, le débit tombe à 64 kbit/s.

[31] "Nuts and Bolts of Net Discrimination: Encryption", Felten, Ed et J. Alex Halderman, Freedom to Tinker Blog, 21 mars 2006, à l'adresse : http://www.freedom-to-tinker.com/?p=995.

[32] "Tor: Overview", Electronic Frontier Foundation, http://tor.eff.org/overview.html.en.

[33] "HSPA: High Speed Wireless Broadband - From HSDPA to HSUPA and Beyond", UMTS Forum à l'adresse : http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/MultiMedia_PDFs_Papers_White-Paper-HSPA.pdf.

[34] « Les implications du WIMAX pour la concurrence et la réglementation », OCDE, DSTI/ICCP/TISP(2005)4/FINAL à l'adresse : http://www.oecd.org/dataoecd/32/7/36218739.pdf.

[35] Excetel Forum, 13 octobre 2006, à l'adresse : http://forum.exetel.com.au/viewtopic.php?t=17721.

[36] Groupe d'études sur les stratégies publiques en matière de TI en Suède « Broadband for growth, innovation and coompetitiveness », http://regeringen.se/content/1/c6/07/38/23/a695375c.pdf.

[37] « Coût des appels VoIP - Téléphone par ADSL», Ariase, 18 octobre 2006, http://www.ariase.com/fr/observatoire/telephone-adsl.html.

[38] Azureus, l'un des clients BitTorrents les plus utilisés, possède une page wiki qui permet aux utilisateurs de classer les FAI suivant la manière dont ils mettent en forme le trafic P2P. http://www.azureuswiki.com/index.php/Bad_ISBs. Les informations sont fournies par les utilisateurs, et ne sont donc pas toujours exactes.

[39] "Broadband – switching, migration and connection processes", communiqué de presse OFCOM, 13 avril 2006, à l'adresse : http://www.ofcom.org.uk/media/news/2006/04/nr_20060413.

[40] Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des régions concernant le réexamen du cadre réglementaire EU pour les réseaux et services de communications électroniques{sec(2006) 816}{sec(2006) 817}, document de travail, 28 juin 2006, http://europa.eu.int/information_society/policy/ecomm/doc/info_centre/public_consult/review/staffworkingdocument_final.pdf.

[41] "Verizon Limits its 'Unlimited' Wireless Broadband Service", Consumer Affairs, 25 juillet 2006 à http://www.consumeraffairs.com/news04/2006/07/verizon_unlimited.html.